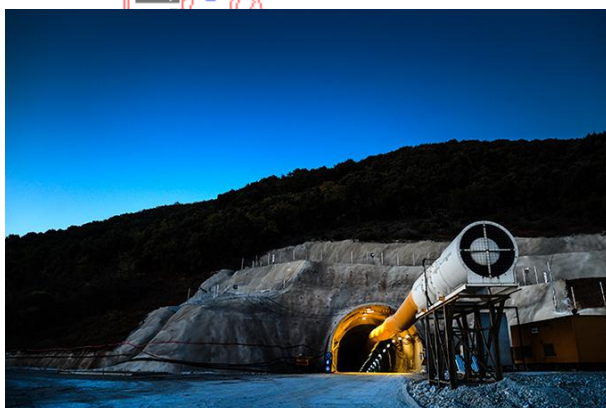




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΥ ΟΛΥΜΠΙΑΔΑΣ



ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Αγιουτάντης Ζαχαρίας, Καθηγητής (επιβλέπων)
Εξαδάκτυλος Γεώργιος, Καθηγητής
Γαλετάκης Μιχάλης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Χανιά, 2014

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Ζαχαρία Αγιουτάντη, ο οποίος επέλεξε το αντικείμενο της εργασίας σύμφωνα με τα δικά μου ενδιαφέροντα. Με την παρούσα διπλωματική εργασία περατώνονται οι σπουδές μου στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τους ανθρώπους που συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ζαχαρία Αγιουτάντη για την εμπιστοσύνη και το ενδιαφέρον που έδειξε κατά την ανάθεση της εργασίας. Θα ήθελα επίσης να τον ευχαριστήσω για την συμπαράσταση και την καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου.

Ευχαριστίες αρμόζουν επίσης:

- Στην εταιρεία Eldorado Gold, για τη χορήγηση της άδειας χρήσης του λογισμικού πακέτου προσομοίωσης VentSim καθώς και στους κκ Στάθη Λιάλιο, Αχιλλέα Γκάτσιο, και Θανάση Μπαραφάκα, μηχανικούς της Eldorado Gold που συνέβαλαν στην παροχή στοιχείων.
- Σε όλους αυτούς τους ανθρώπους και φίλους που με το έναν ή τον άλλο τρόπο στήριξαν την προσπάθεια αυτή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στερήσεις, στηρίζει τις προσπάθειές μου καθ' όλη τη διάρκεια των μαθητικών και ακαδημαϊκών μου σπουδών.

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
2	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	8
2.1	Σύντομη περιγραφή της Hellas Gold (Ελληνικός Χρυσός).....	8
2.2	Κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά	9
3	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ	11
3.1	Αέρια των μεταλλείων	12
3.1.1	Οξυγόνο (O_2)	12
3.1.2	Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)	13
3.1.3	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	13
3.1.4	Μεθάνιο (CH_4).....	15
3.1.5	Υδροθείο (H_2S)	16
3.1.6	Οξείδια του αζώτου	17
3.1.7	Άλλα αέρια.....	17
3.1.8	Ραδιενεργά αέρια	18
3.2	Κονιορτοί	19
3.2.1	Γενικά για τους κονιορτούς	19
3.3	Κλίμα των υπογείων μεταλλείων	21
3.3.1	Πηγές Θερμότητας στα μεταλλεία	21
3.3.2	Τα περιβάλλοντα πετρώματα.....	22
3.3.3	Η συμπίεση του αέρα στα φρέατα	23
3.3.4	Τα υπόγεια ύδατα	24
3.3.5	Οι οξειδώσεις	24
3.3.6	Άλλες δευτερεύουσες πηγές	24
3.4	Η υγρασία των μεταλλείων-Γενικοί ορισμοί	25
3.5	Επίδραση του κλίματος των μεταλλείων στον ανθρώπινο οργανισμό	25
4	ΑΡΧΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ.....	28
4.1	Βασικά στοιχεία ροής	28
4.2	Μορφές πίεσης.....	29
4.3	Απώλειες πίεσης κατά τη ροή- τύποι υπολογισμού	30
4.3.1	Απώλειες πίεσης λόγω τριβών	31
4.3.2	Απώλειες πίεσης λόγω κρούσεων	32
4.4	Χαρακτηριστικά μεγέθη του μεταλλείου	34
4.4.1	Αντίσταση	34
4.4.2	Χαρακτηριστική καμπύλη του μεταλλείου	35

4.5	Επίλυση δικτύων αερισμού	36
4.5.1	Σύνδεση αγωγών σε σειρά	37
4.5.2	Παράλληλη σύνδεση αγωγών	38
4.6	Μετρήσεις Αερισμού	38
4.6.1	Παροχή	39
4.6.2	Πίεση	42
4.7	Κύριος (πρωτεύων) αερισμός	45
4.7.1	Γενικά.....	45
4.7.2	Γενικές διατάξεις αερισμού- προσπελαστικά έργα	46
4.7.3	Ανερχόμενος και κατερχόμενος αερισμός	47
4.7.4	Φυσητικός και μυζητικός αερισμός-Διαγράμματα πιέσεων.....	47
4.8	Φυσικός αερισμός	48
4.8.1	Γενικά.....	48
4.8.2	Πηγές φυσικού αερισμού	49
4.8.3	Προβλήματα προς επίλυση	50
4.9	Μηχανικός αερισμός	51
4.9.1	Ιστορική εξέλιξη	51
4.9.2	Ανεμιστήρες	54
4.9.2.1	Κεντρόφυγες ανεμιστήρες	54
4.9.2.2	Ανεμιστήρες αξονικής ροής (ελικοφόροι ανεμιστήρες).....	57
4.9.3	Νόμοι λειτουργίας ανεμιστήρων	60
4.10	Αερισμός των μεταλλείων με ανεμιστήρες	61
4.10.1	Σημείο λειτουργίας ανεμιστήρα.....	61
4.10.2	Διασκορπιστές	62
4.10.3	Συνδυασμός ανεμιστήρων	63
4.10.3.1	Ανεμιστήρες σε σειρά.....	63
4.10.3.2	Ανεμιστήρες σε παράλληλη διάταξη	64
4.10.4	Συνδυασμός ανεμιστήρων και φυσικού ελκυσμού	66
4.10.5	Βελτίωση του αερισμού σε τμήμα του δικτύου	67
4.10.6	Διευθέτηση του ρεύματος του αέρα	68
4.10.6.1	Φράγματα	68
4.10.6.2	Θύρες	69
4.10.6.3	Ρυθμιστές	71
4.10.6.4	Παραπετάσματα.....	71

4.10.6.5	Διασταυρώσεις.....	71
4.11	Βοηθητικός αερισμός.....	72
4.11.1	Γενικά-σκοπός του βοηθητικού αερισμού	72
4.11.2	Αρχικός προγραμματισμός και θέση τοποθέτησης	72
4.11.3	Πρακτικοί περιορισμοί στη θέση εγκατάστασης του βοηθητικού ανεμιστήρα	73
4.11.4	Διαρροή και επανακυκλοφορία	73
4.11.5	Εξοπλισμός βοηθητικού αερισμού	74
4.11.5.1	Ανεμιστήρες	74
4.11.5.2	Αγωγοί.....	74
5	ΚΥΡΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	77
5.1	Συνοπτική περιγραφή παρούσας κατάστασης	77
5.2	Κύκλωμα αερισμού στην παρούσα κατάσταση	79
5.2.1	Είσοδοι και έξοδοι αέρα	79
5.2.2	Ανεμιστήρες	81
5.2.2.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά κύριων ανεμιστήρων	83
5.2.2.2	Χαρακτηριστικές καμπύλες ανεμιστήρων	84
5.3	Σημεία μέτρησης παροχής	85
5.4	Απαιτήσεις αερισμού.....	90
5.5	Μοντελοποίηση της παρούσας κατάστασης.....	92
5.5.1	Προσαρμογή σχεδίου εκμετάλλευσης για την μελέτη του αερισμού του μεταλλείου.....	92
5.5.2	VentSim.....	94
5.6	Μελέτη προσομοίωσης.....	96
5.6.1	Απεικόνιση του προσομοιώματος.....	96
5.6.2	Τυφλά ανοίγματα.....	105
5.6.3	Βαθμονόμηση του προσομοιώματος	105
5.6.3.1	Επίλυση με σταθερές παροχές	106
5.6.3.2	Επίλυση με χρήση ανεμιστήρων.....	108
5.7	Συζήτηση αποτελεσμάτων	109
5.8	Μελλοντική εξέλιξη	110
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	113
6.1	Συμπεράσματα	113
6.2	Προτάσεις	114
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	116

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στην προσομοίωση του δικτύου αερισμού του μεταλλείου μικτών θειούχων της Ολυμπιάδας στη Χαλκιδική.

Καταρχήν παρουσιάζονται και περιγράφονται τα χαρακτηριστικά του υφιστάμενου δικτύου. Στην συνέχεια παρουσιάζεται το ισοδύναμο προσομοίωμα του υφιστάμενου δικτύου το οποίο κατασκευάστηκε. Ακολουθεί η βαθμονόμηση του μοντέλου αερισμού η οποία έγινε με δύο διαφορετικούς τρόπους. Με την πρώτη προσέγγιση, η βαθμονόμηση έγινε με σταθερές τιμές παροχής στα σημεία εισόδου και εξόδου του αέρα, ενώ η επίλυση στο δεύτερο μοντέλο έγινε με την εισαγωγή τεσσάρων ανεμιστήρων ανά δύο συνδεδεμένων παράλληλα στη βάση και στη έξοδο του φιρέ αερισμού του μεταλλείου. Στη συνέχεια συγκρίνονται τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από την προσομοίωση του δικτύου με μετρήσεις παροχής σε διάφορα σημεία του υπόγειου δικτύου.

Από την σύγκριση των μετρήσεων και των υπολογιζόμενων ποσοτήτων προκύπτει η ανάγκη ελέγχου των μετρήσεων σε ορισμένα σημεία. Επίσης, εντοπίζονται τα βραχυκυκλώματα του δικτύου αερισμού, τα οποία οφείλονται σε διαρροές κατά μήκος αυτού, καθώς και οι δυνατότητες αερισμού των διαφόρων σημείων του μεταλλείου.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αερισμός των υπόγειων μεταλλείων αποτελεί ένα ξεχωριστό κεφάλαιο κατά τη διάρκεια μιας εκμετάλλευσης και αποτελεί παράγοντα με κεφαλαιώδη σημασία τόσο για την ασφαλή λειτουργία όσο και για την αποδοτικότητα του μεταλλείου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια για βαθμονόμηση του μοντέλου αερισμού του μεταλλείου μικτών θειούχων της Ολυμπιάδας στη Χαλκιδική.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης με τη βοήθεια του οποίου αφού σχεδιάστηκε το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα, περνώντας ουσιαστικά από τις τρεις διαστάσεις στις δύο, έγινε η επίλυση του κυκλώματος.

Πρέπει να αναφερθεί ότι στη θεωρία της μελέτης κυκλωμάτων αερισμού ισχύουν οι δύο νόμοι του Kirchhoff (κόμβων και βρόγχων) όπως στα ηλεκτρικά κυκλώματα.

Η βαθμονόμηση του μοντέλου αερισμού έγινε με δύο διαφορετικούς τρόπους και αντίστοιχα κατασκευάστηκαν δύο διαφορετικά μοντέλα. Η διαφορά στους δύο αυτούς τρόπους είναι ότι, στον πρώτο τρόπο η βαθμονόμηση έγινε με σταθερές τιμές παροχής στα σημεία εισόδου και εξόδου του αέρα, ενώ η επίλυση στο δεύτερο μοντέλο έγινε με την εισαγωγή των ανεμιστήρων με κατάλληλη διάταξη αντίστοιχη με αυτή του μεταλλείου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη περιγραφή της εταιρίας και της περιοχής εκμετάλλευσης. Ακολουθεί αναφορά με τα αέρια και τις σκόνες που απαντώνται στα υπόγεια μεταλλεία καθώς και στοιχεία που αφορούν το κλίμα των υπογείων εργασιών. Στη συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής περιγραφή για θέματα ροής του αέρα, των ανεμιστήρων και τις διατάξεις αυτών. Τέλος, παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης του υπολογιστικού μοντέλου, οι μετρήσεις και οι βαθμονομήσεις. Αξιολογούνται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν και προτείνονται λύσεις για την βελτίωση του δικτύου αερισμού.

2 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

2.1 Σύντομη περιγραφή της Hellas Gold (Ελληνικός Χρυσός)

Η μεταλλευτική εταιρεία ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ Α.Ε. συστήθηκε τον Δεκέμβριο του 2003 με σκοπό:

- την λειτουργία και εκμετάλλευση μεταλλείων κάθε είδους
- την επεξεργασία και εμπορία μεταλλευμάτων
- την ίδρυση και λειτουργία μεταλλουργίας χρυσού στη Χαλκιδική

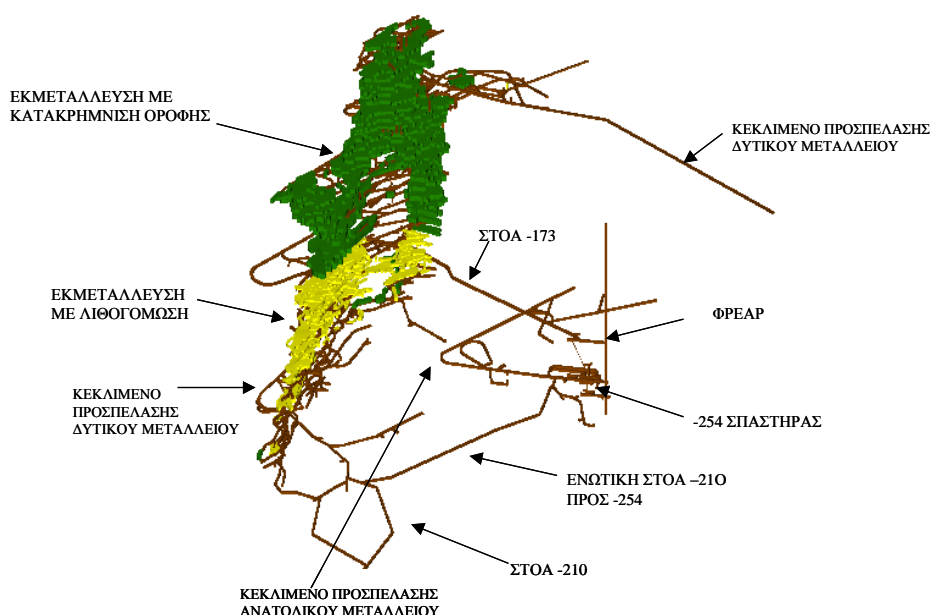
Στις αρχές του 2004 η ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ απέκτησε με σύμβαση από το Ελληνικό Δημόσιο τα μεταλλευτικά δικαιώματα των «ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΣΣΑΝΔΡΑΣ». Από το Φεβρουάριο του 2012 λειτουργεί ως θυγατρική της канаδικής εταιρείας Eldorado Gold, η οποία είναι μια εταιρεία μεσαίου μεγέθους που δραστηριοποιείται στο μεταλλευτικό/μεταλλουργικό κλάδο χρυσού. Η έδρα της είναι στο Βανκούβερ του Καναδά και είναι εισηγμένη στα Χρηματιστήρια του Τορόντο και της Νέας Υόρκης με κύκλο εργασιών που ξεπερνάει το 1 δις \$ ετησίως. Αυτή τη στιγμή διαθέτει πέντε ενεργά μεταλλεία και αρκετά σε αναπτυξιακό ή/και κατασκευαστικό στάδιο στις κάτωθι χώρες: Κίνα, Τουρκία, Ελλάδα και Βραζιλία. Στην Ελλάδα κατέχει το 95% της ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ Α.Ε. (όπου το υπόλοιπο 5% παραμένει στην κατοχή του ομίλου ΕΛΛΑΚΤΩΡ) και το 100% της ΧΡΥΣΩΡΥΧΕΙΑ ΘΡΑΚΗΣ.

Το μεταλλείο της Ολυμπιάδας είναι ανενεργό εδώ και περίπου 12 χρόνια. Η παύση της δραστηριότητας είχε επιβληθεί, το 2002 με απόφαση του ΣτΕ κατά της μεθόδου μεταλλουργίας χρυσού που είχε προτείνει η τότε κάτοχος των μεταλλευτικών δικαιωμάτων TVX Hellas.

Παρόλα αυτά έπρεπε να διατηρηθεί σε λειτουργία το αντλητικό σύστημα του μεταλλείου και η προσβασιμότητα σε αυτό σε μήκος 3.500 μέτρων. Η ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ έχει αναλάβει τη συντήρηση του. Για να επαναλειτουργήσει το μεταλλείο είναι απαραίτητος ο εκσυγχρονισμός των εγκαταστάσεων.

Το κοίτασμα της Ολυμπιάδας αποτελείται από μικτά θειούχα μεταλλεύματα με περιεκτικότητα 4,6% μόλυβδο (Pb), 6,09% ψευδάργυρο (Zn), 9 g/t Χρυσό (Au) και 180 g/t άργυρο (Ag). Συνολικά αναμένεται να εξορυχθούν 11,5 εκατ. τόνοι μεταλλεύματος. Με βάση αυτά τα μεταλλευτικά αποθέματα, η σχεδιαζόμενη εκμετάλλευση υπερβαίνει τα 25 έτη. Η ανάπτυξη και εκμετάλλευση του μεταλλείου θα γίνει αποκλειστικά υπόγεια.

Γι' αυτό το σκοπό η ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ έχει ξεκινήσει τη κατασκευή μίας υπόγειας σήραγγας, συνολικού μήκους περίπου 9 χιλιομέτρων, η οποία θα συνδέει το κοίτασμα της Ολυμπιάδας με τις μεταλλευτικές εγκαταστάσεις του Μάντεμ Λάκκου. Μέσω της σήραγγας θα μεταφέρεται το μετάλλευμα για κατεργασία στο εργοστάσιο εμπλουτισμού, το οποίο θα ανεγερθεί στην περιοχή του Μάντεμ Λάκκου και θα αποτελεί μέρος του μεταλλευτικού κέντρου που θα δημιουργηθεί μελλοντικά στην περιοχή αυτή.



Εικόνα 2.1 Παρουσίαση μεθόδων εκμετάλλευσης του μεταλλείου Ολυμπιάδας

Η εκμετάλλευση του κοιτάσματος που παρουσιάζεται στην εικόνα 2.1 με κίτρινο χρώμα, μετά την ολοκλήρωση των έργων αποκατάστασης, πρόκειται να γίνει με μέθοδο λιθογόμωσης.

2.2 Κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά

Το κοίτασμα της Ολυμπιάδας εντοπίζεται στο κατώτερο ορίζοντα μαρμάρου, ο οποίος εμφανίζεται επιφανειακά δύο χιλιόμετρα δυτικά της ομώνυμης κοινότητας. Πρόκειται για συμπαγή και διάσπαρτη χρυσοφόρα, θειούχο μεταλλοφορία, υδροθερμικής προέλευσης. Κύρια ορυκτά του κοιτάσματος είναι ο σιδηροπυρίτης, ο αρσеноπυρίτης, ο γαληνίτης και ο σφαλερίτης, ενώ δευτερεύοντα ο τεταραεδρίτης, χαλκοπυρίτης, βουρνιτίτης, μπουλανζερίτης, μαρκασίτης, πυροττίτης και εναργίτης. Ο περιεχόμενος χρυσός είναι υπομικροσκοπικών διαστάσεων (<1μm) και κατανέμεται σε αναλογία 40% και 60% στα κρυσταλλικά πλέγματα του σιδηροπυρίτη και του αρσеноπυρίτη αντίστοιχα. Από την άποψη της

ανακτησιμότητας του χρυσού, το μέταλλευμα της Ολυμπιάδας ανήκει στην κατηγορία των δυσκατέργαστων χρυσοφόρων μεταλλευμάτων (Βεράνης 1994, Μάρατος 1955).

Υπάρχουν δύο κοιτάσματα, το Ανατολικό και το Δυτικό, τα οποία ενδέχεται να αποτελούν το ίδιο κοίτασμα μετατοπισμένο από ρήγμα. Και τα δύο κοιτάσματα έχουν κλίση από κατακόρυφη έως οριζόντια, ακολουθώντας την επαφή μαρμάρου-γνευσίου. Το δυτικό κοίτασμα είναι πλάτους περίπου 250m και βυθίζεται κατά 1200m προς τα ΝΔ. Έχει διαπιστωθεί μέχρι και σε βάθος 500m από την επιφάνεια και είναι ανοιχτό προς τα κάτω. Το πάχος του κυμαίνεται 5-15 m, με κλίση 30°-35° προς Ανατολή. Το ανατολικό κοίτασμα βρίσκεται 150m ανατολικά του δυτικού και έχει αντικλινική δομή. Η κλίση του είναι 25°-30° προς Ανατολή. Το πλάτος του είναι 75m και το μέσο πάχος 7m (Βεράνης 1994, Μάρατος 1955).

Τα γεωλογικά και μεταλλευτικά αποθέματα για το κοίτασμα της Ολυμπιάδας με βάση τα σημερινά διαθέσιμα στοιχεία δίνονται στον πίνακα 2.1 (TVX Hellas 1999, Ελληνικός Χρυσός 2007).

Πίνακας 2.1 Γεωλογικά και Μεταλλευτικά Αποθέματα Κοιτάσματος Ολυμπιάδας

Κατηγορία	Ποσότητα (Mt)	Au (g/t)	Ag (g/t)	Pb (%)	Zn (%)
Γεωλογικά (βέβαια + πιθανά)	12,075	10,05	151,6	5,02	6,70
Μεταλλευτικά	11,515	8,97	137,62	4,60	6,09

3 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ

Κύριος σκοπός του αερισμού είναι η αραίωση και απομάκρυνση των διαφόρων ουσιών (αερίων, κονιορτών) που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα των μεταλλείων, οι οποίες μπορεί να καταστούν επικίνδυνες για την υγεία και την ασφάλεια του προσωπικού και κατ' επέκταση την ασφάλεια των έργων. Επίσης το κλίμα των υπόγειων μεταλλείων πρέπει να είναι τέτοιο ώστε οι εργαζόμενοι να μπορούν να εργάζονται άνετα σε κατάλληλες κλιματολογικές συνθήκες.

Στον πίνακα 3.1 παρατίθενται κάποια άρθρα σχετικά με τον αερισμό των μεταλλείων. Σκοπός τους είναι η επιβολή κάποιων μέτρων προστασίας των εργαζομένων σε μεταλλεία, λατομεία, ανθρακωρυχεία κτλ. από τις διάφορες επιβλαβείς ουσίες που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα του χώρου εργασίας (δηλητηριώδη αέρια, σκόνες κτλ.). Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι τα άρθρα αυτά έχουν θεσπιστεί και ισχύουν μόνο για την Ελλάδα. Η κάθε χώρα θεσπίζει τους δικούς της κανόνες ασφαλείας, βασιζόμενη βέβαια πάντα στις διεθνείς μελέτες που έχουν γίνει σχετικά με την επίδραση των επικίνδυνων στην ατμόσφαιρα ουσιών, επάνω στον άνθρωπο.

Πίνακας 3.1 Άρθρα Κανονισμού Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV-ΜΕΡΟΣ Β' (Προστασία των εργαζομένων από φυσικούς και χημικούς παράγοντες στο εργασιακό περιβάλλον)	
Άρθρο 22:	Προστασία των εργαζομένων από αιωρούμενες σκόνες, αέρια, ατμούς, καπνούς και λοιπούς χημικούς παράγοντες
Άρθρο 23:	Προστασία των εργαζομένων από θερμική καταπόνηση
Άρθρο 24:	Καταχώρηση μετρήσεων
Άρθρο 25:	Προστασία των εργαζομένων από ραδιενεργές σκόνες και ιοντίζουσες ακτινοβολίες
ΚΕΦΑΛΑΙΟ VIII-ΜΕΡΟΣ Γ' (Αερισμός υπόγειων εργασιών)	
Άρθρο 75:	Απαιτήσεις σε αερισμό
Άρθρο 76:	Κυκλώματα, εγκαταστάσεις και δίκτυα αερισμού
Άρθρο 77:	Έλεγχοι αερισμού
Άρθρο 78:	Προστασία εργαζομένων

3.1 Αέρια των μεταλλείων

Ο καθαρός ξηρός αέρας ο οποίος εισέρχεται στα μεταλλεία ή σε κάθε άλλη κάτω από την επιφάνεια δομή έχει μία σύνθεση όγκου 20.93% O₂ (οξυγόνο), 78.10% N (άζωτο), 0.03% CO₂ (διοξείδιο του άνθρακα) και 0.94% Ar (αργό).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ξηρός αέρας δεν υφίσταται στην πράξη, δηλαδή στις συνήθεις ατμόσφαιρες. Πρόκειται ουσιαστικά για υποθετικό όρο ο οποίος χρησιμοποιείται στον ποιοτικό έλεγχο του αέρα ή στους ψυχομετρικούς υπολογισμούς. Η κατάσταση που αντιμετωπίζεται στα υπόγεια έργα αφορά σε υγρό αέρα (ή “κανονικό” αέρα) ο οποίος είναι μείγμα ξηρού αέρα και υδρατμών, σε ποσοστό 0.1-0.4% κατ’ όγκο (συνήθως αρκετά άνω του 1% στα μεταλλεία). Κάτω από αυτές τις συνθήκες αναφερόμαστε σε “κανονική” ατμόσφαιρα η οποία λαμβάνεται και ως βάση στους υπολογισμούς του ποιοτικού και ποσοτικού ελέγχου του αέρα.

Ο αέρας που εκπνέει ο ανθρώπινος οργανισμός περιέχει 16.3% O₂ (οξυγόνο), 79.32% N (άζωτο) και 4.38% CO₂ (διοξείδιο του άνθρακα).

Ο μέσος άνθρωπος όταν βρίσκεται σε ανάπαυση αναπνέει 15 έως 18 φορές το λεπτό, εισπνέοντας 400-700 cm³ αέρα σε κάθε εισπνοή, δηλαδή 5-13 λίτρα αέρα το λεπτό. Κατ’ αυτό τον τρόπο καταναλώνει 300 cm³ οξυγόνο το λεπτό, ενώ όταν εργάζεται σκληρά (οπότε βέβαια αναπνέει με ταχύτερο ρυθμό) μπορεί να καταναλώσει 3000 cm³ ή και περισσότερο σε κάθε εισπνοή.

Ο αέρας κατά την κυκλοφορία του μέσα στο μεταλλείο χάνει από το οξυγόνο του. Αυτό είναι συνέπεια της αναπνοής των εργαζομένων και της ενδεχόμενης λειτουργίας μηχανών εσωτερικής καύσης αλλά και των αντιδράσεων οξείδωσης που επισυμβαίνουν στα ανθρακοφόρα κοιτάσματα, στην ξυλεία που χρησιμοποιείται για υποστήριξη καθώς επίσης και σε ορισμένα επιρρεπή σε οξείδωση μεταλλεύματα (Οικονομόπουλος, 1991).

3.1.1 Οξυγόνο (O₂)

Από όλα τα αέρια που αναφέρονται παρακάτω, το οξυγόνο αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα. Η ποσότητα του οξυγόνου που χρειάζεται το ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα, είναι συνάρτηση της κινητικής δραστηριότητας του οργανισμού. Που σημαίνει ότι, ο περισσότερο δραστήριος, με τους περισσότερους αναπνευστικούς ρυθμούς, σπαταλά μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου (Hartman, 1982).

Οι άνθρωποι αναπνέουν άνετα και εργάζονται καλύτερα εάν ο αέρας περιέχει το κανονικό ποσοστό οξυγόνου (21%).

Σε ποσοστό οξυγόνου 17% περίπου αναπνέουν ταχύτερα και βαθύτερα σαν να βρίσκονται σε ύψος 1500 μέτρων επάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Σε ποσοστό 15% περίπου αισθάνονται κατά κανόνα ταχυπαλμία, ζάλη, βουή στα αυτιά, συχνά δε και πονοκέφαλο.

Σε ποσοστό 13% περίπου παρατηρείται έντονη ταχυπαλμία, εμετός και υπό ορισμένες συνθήκες απώλεια των αισθήσεων.

Σε ποσοστό χαμηλότερο του 10% παρατηρείται κυάνωση, κώμα και σπασμοί.

Τέλος, σε ποσοστό 7% ο κίνδυνος απώλειας ζωής είναι άμεσος, ενώ σε ποσοστό 6% περίπου επέρχεται γρήγορα ο θάνατος (Οικονομόπουλος, 1991).

3.1.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι βαρύτερο από τον αέρα και συγκεντρώνεται στο δάπεδο των στοών.

Ποσοστό 0.5% CO₂ στον αέρα προκαλεί την ανάγκη λίγο βαθύτερης και ταχύτερης αναπνοής, σε σχέση με τη συνηθισμένη.

Αύξηση του ποσοστού σε 2%, 3%, ή 5% προκαλεί αντίστοιχη αύξηση του απαιτούμενου για την αναπνοή αέρα κατά 50%, 100% και 300%.

Ποσοστό 10% CO₂ δεν μπορεί να γίνει ανεκτό περισσότερο από λίγα λεπτά της ώρας.

Οι επιδράσεις αυτές ισχύουν υπό την προϋπόθεση ότι το οξυγόνο παραμένει περίπου στα κανονικά όρια και ότι ο εργαζόμενος δεν καταβάλλει προσπάθειες. Σε αντίθετη περίπτωση τα συμπτώματα είναι πιο έντονα και φυσικά πιο επικίνδυνα, ακόμη και σε μικρότερες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (Οικονομόπουλος, 1991).

3.1.3 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Η υψηλή τοξικότητα του μονοξειδίου του άνθρακα που συνδέεται με την έλλειψη οσμής, γεύσης και χρώματος, το κάνουν ένα από τα πιο επικίνδυνα αέρια μεταλλείων. Έχει χαμηλή πυκνότητα και είναι ελαφρύτερο από τον αέρα (McPherson, 1993).

Εισπνεόμενο προκαλεί ελάττωση του Οξυγόνου που μεταφέρει στους ιστούς το αίμα. Σε σοβαρές περιπτώσεις το αίμα δεν καθαρίζει ακόμα και μετά από ένα διάστημα αρκετών ημερών από την έκθεση του οργανισμού στο αέριο αυτό.

Το μονοξείδιο του άνθρακα συναντάται στην ατμόσφαιρα των μεταλλείων προερχόμενο από τα εκρηκτικά που χρησιμοποιούνται για την ανατίναξη καθώς και από την λειτουργία ντιζελοκίνητων μηχανών.

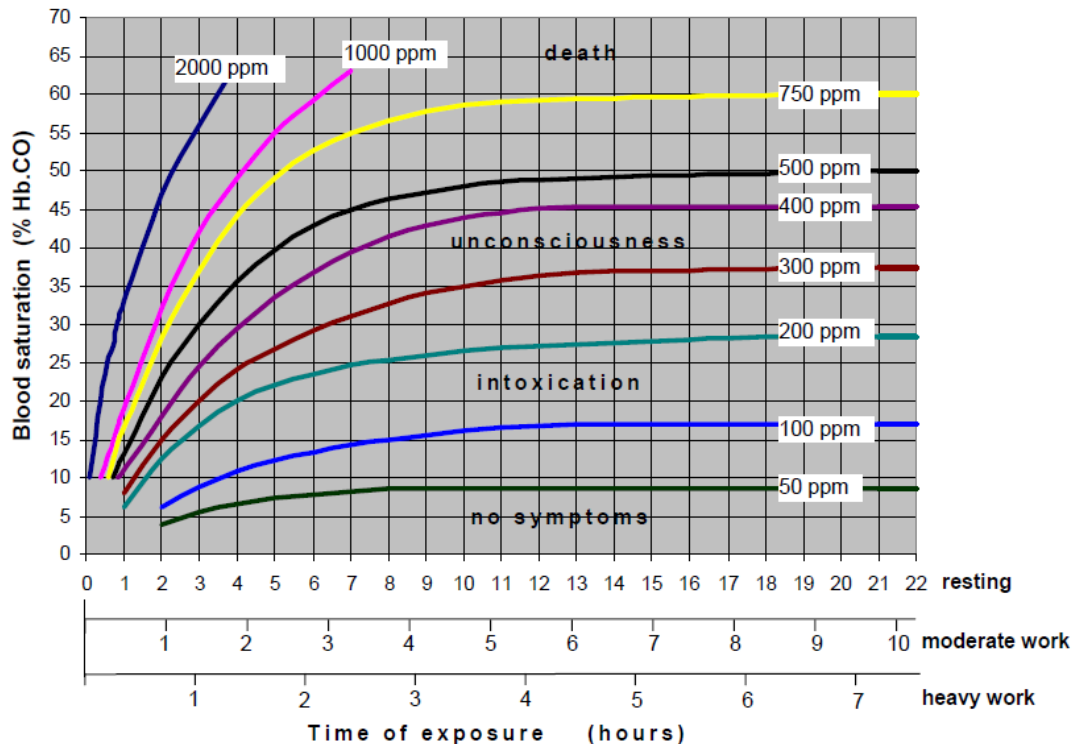
Το σύνολο του μονοξειδίου του άνθρακα που παράγεται από τις παραπάνω πηγές μπορεί να ελαττωθεί σε ένα μικρό ποσοστό με την εφαρμογή χημικών και την τροποποίηση της τεχνικής γόμωσης των διατρημάτων.

Έντονη είναι η παρουσία του όπως προαναφέρθηκε μετά από εκρήξεις όπως προαναφέρθηκε και τυχόν πυρκαγιές. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό στη διεθνή βιβλιογραφία με τον όρο afterdamp.

Έτσι λοιπόν, το κύκλωμα αερισμού πρέπει να έχει τη δυνατότητα να αντιμετωπίσει παρόμοιες τέτοιες καταστάσεις για την αποφυγή ατυχημάτων (Hall, 1981).

Τέλος, για το μηχανικό μεταλλείων έχει περισσότερη πρακτική αξία η γνώση των συμπτωμάτων που προέρχονται από την εισπνοή μονοξειδίου του άνθρακα σε συνάρτηση με το χρόνο έκθεσης των εργαζομένων σε διάφορες συγκεντρώσεις του αερίου.

Η εικόνα 3.1 δίνει έναν πρακτικότερο οδηγό των φυσιολογικών αντιδράσεων στο μονοξείδιο του άνθρακα και λαμβάνει υπόψη το επίπεδο σωματικής δραστηριότητας και τον χρόνο έκθεσης.



Εικόνα 3.1 Επίδραση της συγκέντρωσης του CO στον αέρα στη λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού (ανακαλύφθηκαν από τον Strang and Wood,1985)[Οι τρεις οριζόντιοι άξονες αντιπροσωπεύουν τις ώρες έκθεσης για τρία διαφορετικά επίπεδα δραστηριότητας] (McPherson, 1993).

3.1.4 Μεθάνιο (CH₄)

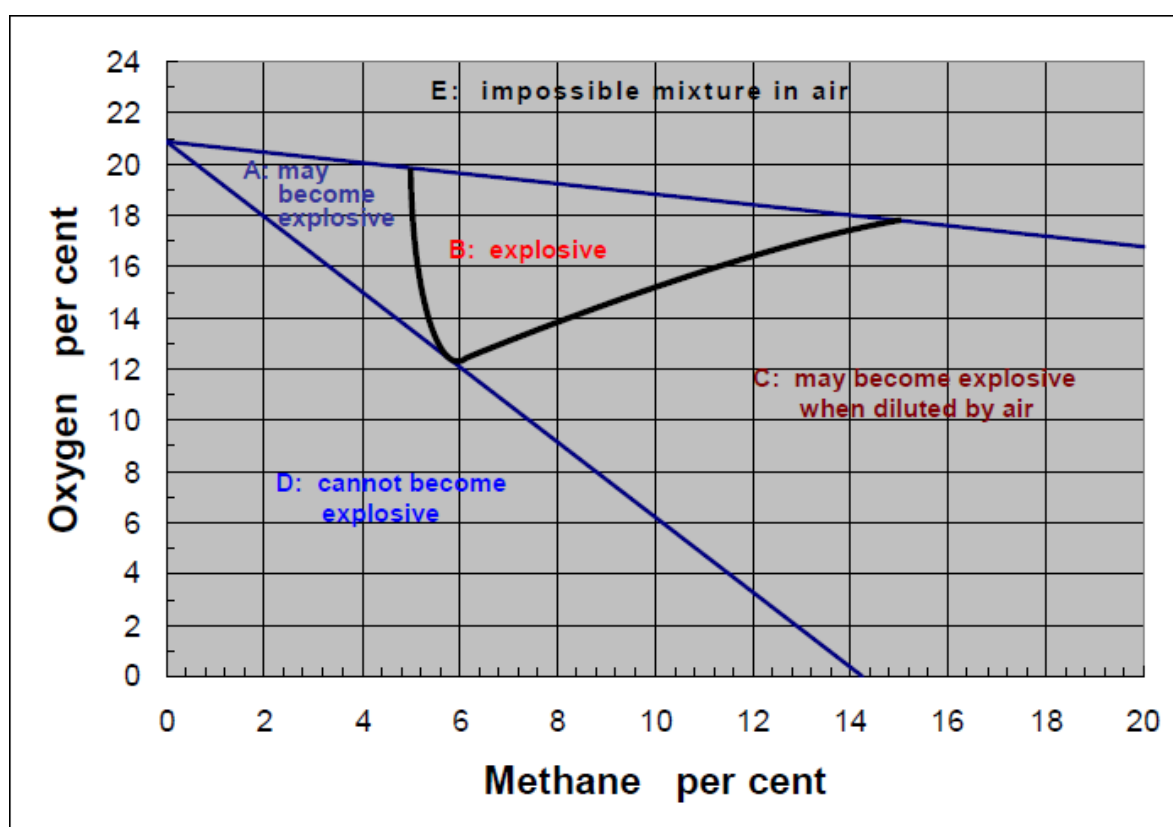
Το μεθάνιο, αέριο άοσμο, δεν βρίσκεται μόνο στα περισσότερα ανθρακωρυχεία, αλλά και σε μερικά μεταλλικά ή άλλα μεταλλεία.

Στα ανθρακωρυχεία το αέριο προέρχεται από το κοίτασμα ή τα περιβάλλοντα πετρώματα, ενώ στα μεταλλικά ή άλλα μεταλλεία ανιχνεύεται κατά κανόνα σε περιπτώσεις όρυξης στοών σε βιτουμινούχους σχιστόλιθους ή διαχέεται στις υπόγειες εργασίες από τυχόν υφιστάμενα ανθρακούχα περιβάλλοντα πετρώματα ή ακόμη και από ανθρακοφόρα στρώματα που γειτνιάζουν με το υπό εκμετάλλευση κοίτασμα.

Το μεθάνιο είναι πάρα πολύ εύφλεκτο και καίγεται κατά την αντίδραση $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ σε αναλογία δε με τον αέρα 5-15% (κατ' όγκο) και υπό την προϋπόθεση ότι το ποσοστό του οξυγόνου είναι μεγαλύτερο του 12.1%, εκρήγνυται, εφ' όσον υποστεί έναυση, με καταστρεπτικά συνήθως αποτελέσματα.

Από τα προηγούμενα σαφώς προκύπτει ότι το μεθάνιο αποτελεί παράγοντα πρωταρχικής σημασίας για την ασφάλεια της εκμετάλλευσης των μεταλλείων και συνεπώς θα πρέπει να καταβάλλεται συνεχής προσπάθεια ώστε με τη βοήθεια κατάλληλου αερισμού, το αέριο να βρίσκεται στις υπόγειες εκσκαφές σε όσο το δυνατόν μικρότερα ποσοστά και οπωσδήποτε κάτω του 0.5%, σε όλα τα κυκλώματα αερισμού (Οικονομόπουλος, 1991).

Στην εικόνα 2.2 απεικονίζεται η επικινδυνότητα ανάφλεξης από την ανάμιξη του μεθανίου με το οξυγόνο για διάφορες περιεκτικότητες.



Εικόνα 3.2 Διάγραμμα ανάμιξης του μεθανίου με το οξυγόνο (McPherson, 1993).

3.1.5 Υδρόθειο (H_2S)

Το δύσοσμο αυτό αέριο είναι πολύ δηλητηριώδες.

Σε ποσοστό 0.005-0.010% προκαλεί ορισμένα ελαφρά συμπτώματα (ερεθισμό στα μάτια και στις αναπνευστικές οδούς) μετά από μία ώρα έκθεσης.

Σε ποσοστό 0.02 έως 0.07% παρατηρείται έντονος ερεθισμός στα μάτια, πονοκέφαλος, ναυτία, πόνοι στη μύτη, το λάρυγγα και το στήθος.

Εάν η συγκέντρωση αυξηθεί (0.07-0.1%) επέρχεται απώλεια των αισθήσεων, παύση της αναπνοής και θάνατος.

Σε ποσοστό 0.1 έως 0.2% ο θάνατος επισυμβαίνει σε λίγα λεπτά.

Παρ' όλο ότι η έντονη οσμή του αερίου προδίδει την ύπαρξη του, πρέπει να σημειωθεί ότι παρατεινόμενη έκθεση των εργαζομένων και σε χαμηλές ακόμη συγκεντρώσεις υδρόθειου, παραλύει την όσφρηση με επικίνδυνες συνέπειες. Έκθεση επί 15 λεπτά σε ποσοστό 0.01% προκαλεί απώλεια της όσφρησης. Το αυτό βεβαίως μπορεί να συμβεί και σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις του αερίου εάν η έκθεση παραταθεί περισσότερο. Αέρας που περιέχει 4.3-46% H_2S θα εκραγεί αν υποστεί έναυση.

Το υδρόθειο το οποίο απαντάται στα μεταλλεία προέρχεται κυρίως από την αποσύνθεση των πυριτών, την αποσύνθεση των ξύλων που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη των υπόγειων εκσκαφών, την αποσύνθεση των εκρηκτικών υλών πλουσίων σε θείο και σπανιότερα εκλύεται μαζί με το μεθάνιο από τα ανθρακοφόρα κοιτάσματα. Πάντως, κατά κανόνα, συναντάται συχνότερα σε μεταλλικά μεταλλεία (θειούχων μεταλλευμάτων, γύψου κλπ) παρά σε ανθρακωρυχεία (Οικονομόπουλος, 1991).

3.1.6 Οξείδια του αζώτου

Όπως είναι γνωστό, το άζωτο σχηματίζει διάφορα οξείδια (N_2O , NO , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_3 και N_2O_5) τα οποία, με την εξαίρεση του N_2O είναι τοξικά.

Στην ατμόσφαιρα των μεταλλείων απαντούν συχνότερα τα οξείδια NO και NO_2 που προέρχονται κυρίως από τα αέρια αποσύνθεσης των εκρηκτικών υλών και τα καυσαέρια των μηχανών εσωτερικής καύσης (Οικονομόπουλος, 1991).

Συγκεντρώσεις των αερίων αυτών σε τάξη μεγέθους 100 ppm μπορούν να προκαλέσουν θάνατο, ενώ στα 700 ppm ο θάνατος επέρχεται σε διάρκεια μόλις 30 λεπτών (Hall, 1981).

Επομένως, απαιτείται έντονος αερισμός για την αραιώση και ταχεία απαγωγή των τέτοιου είδους καπνών.

3.1.7 Άλλα αέρια

Άλλα αέρια, που απαντούν σπανιότερα στην ατμόσφαιρα των μεταλλείων, είναι το διοξείδιο του θείου, το υδρογόνο, ορισμένοι υδρογονάνθρακες της σειράς του μεθανίου (όπως αιθάνιο, προπάνιο και βουτάνιο) και αλδεΐδες.

Ειδικότερα, το SO_2 , βρίσκεται μέσα στη ζώνη κατακρημνίσεων κατά τις εκμεταλλεύσεις θειούχων κοιτασμάτων και είναι πολύ δηλητηριώδες και σε μικρές ακόμη συγκεντρώσεις, πλην όμως ερεθίζει τους οφθαλμούς και τις αναπνευστικές

οδούς σε τέτοιο βαθμό ώστε να μη γίνεται ανεκτό, ακόμα και σε ποσοστά που δεν είναι αμέσως επικίνδυνα.

Οι αλδεΐδες προέρχονται κυρίως από τα καυσαέρια των μηχανών εσωτερικής καύσης, μπορεί όμως να παραχθούν και κατά την απόσταξη ανθράκων που επιτελείται κατά τη διάρκεια πυρκαγιών σε ανθρακωρυχεία.

Ο ανθρώπινος οργανισμός είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος και σε μικρές ακόμη συγκεντρώσεις αλδεϋδών (οσμή ιδιάζουσα και ερεθισμός των αναπνευστικών οδών και των οφθαλμών, ιδιαίτερα από τη φορμαλδεΐδη).

Δεδομένου ότι οι αλδεΐδες αποτελούν μερικώς οξειδωμένους υδρογονάνθρακες, η συγκέντρωσή τους στα καυσαέρια συνδέεται αμέσως με το ποσοστό του καυσίμου που παραμένει άκαυστο. Το είδος και το ποσοστό των αλδεϋδών στα καυσαέρια δεν είναι δυνατόν να προκαθορισθεί, εξαρτάται δε σημαντικά και από τον τύπο της μηχανής εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιείται.

Τα αποτελέσματα παρατεταμένης έκθεσης ατόμου σε ατμόσφαιρα περιέχουσα συγκεντρώσεις αλδεϋδών δεν είναι πάντοτε αρκετά σαφή (Οικονομόπουλος, 1991).

3.1.8 Ραδιενεργά αέρια

Το πιο επικίνδυνο ραδιενεργό αέριο που απαντάται στα υπόγεια μεταλλεία, είναι το ραδόνιο.

Αυτό το χημικά αδρανές αέριο είναι ένα από τα στοιχεία που διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια της ραδιενεργού αποσύνθεσης της σειράς του ραδίου. Αν και η παρουσία του είναι σοβαρότερη σε ορυχεία ουρανίου, μπορεί να βρεθεί και σε άλλου είδους μεταλλεία όπως για παράδειγμα ανθρακωρυχεία.

Το ραδόνιο προέρχεται από το μητρικό πέτρωμα ή από υπόγεια νερά που έχουν έρθει σε επαφή με ραδιενεργό μέταλλευμα. Ο χρόνος ημιζωής του είναι 3.8 ημέρες (McPherson, 1993).

Καθώς διασπάται μετατρέπεται διαδοχικά σε ράδιο Α, το οποίο με τη διασπάται σε ράδιο Β, αυτό σε ράδιο C και ου το καθεξής. Τα προϊόντα που παράγονται από τη διάσπαση του ραδίου ονομάζονται “κόρες του ραδίου” (Hartman, 1982).

Θεωρείται ότι η εισπνοή ραδονίου, επί μακρά χρονικά διαστήματα, προκαλεί καρκίνο των πνευμόνων. Αναφέρεται ότι σε μεταλλεία με σημαντική συγκέντρωση

ραδονίου και ανεπαρκή αερισμό, παρατηρήθηκε ότι το 40% των θανάτων που σημειώθηκαν οφείλονταν σε καρκίνο των πνευμόνων (Οικονομόπουλος, 1991).

3.2 Κονιορτοί

3.2.1 Γενικά για τους κονιορτούς

Η φυσική ατμόσφαιρα δεν περιέχει μόνο τα αέρια συστατικά, αλλά και έναν μεγάλο αριθμό υγρών και στερεών μορίων, γνωστά με τον όρο “αερολύματα”. Προκύπτουν από έναν συνδυασμό φυσικών και βιομηχανικών πηγών οι οποίες συμπεριλαμβάνουν την συμπύκνωση, τους καπνούς, την ηφαιστειακή δραστηριότητα, τα χώματα, την άμμο κλπ. Τα περισσότερα από αυτά είναι τόσο μικρά που είναι σχεδόν αδύνατο να γίνουν ορατά με γυμνό μάτι.

Η σκόνη χρησιμοποιείται σαν όρος κυρίως για τα στερεά μόρια.

Οι κυριότερες πηγές παραγωγής κονιορτών στα υπόγεια μεταλλεία διακρίνονται κατά τη φάση:

- Διάτρησης
- Ανατίναξης
- Φόρτωσης
- Μεταφοράς

Από την εισπνοή ορισμένων κονιορτών είναι δυνατόν, υπό ορισμένες συνθήκες, να προκληθούν βαρύτατες ασθένειες στους εργαζομένους, ενώ από τους κονιορτούς των ανθρακωρυχείων που είναι γενικά εύφλεκτοι, μπορεί να προκληθούν εκρήξεις με καταστρεπτικές συνέπειες.

Η ταξινόμηση τους είναι γενικά δύσκολη επειδή παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία και οι επιπτώσεις τους στον ανθρώπινο οργανισμό είναι πολλές και διάφορες.

Το ευρύ φάσμα των κινδύνων που προαναφέρονται, προκύπτει και από την ταξινόμηση που ακολουθεί, δεδομένου ότι σε αυτήν αναφέρονται, τόσο τα επί του ανθρωπίνου οργανισμού αποτελέσματα, όσο και οι εκρηκτικές ιδιότητες των κονιορτών.

Διακρίνονται:

1. Κονιορτούς επιβλαβείς για το αναπνευστικό σύστημα. Πρόκειται κυρίως για τις σκόνες που προέρχονται από το ελεύθερο διοξείδιο του

πυριτίου, τα πυριτικά ορυκτά, τα μεταλλεύματα του βηρυλλίου, του κασσιτέρου, του σιδήρου (τουλάχιστον ορισμένα από αυτά), του άνθρακα (κυρίως του ανθρακίτη και των πισσούχων ανθράκων) κλπ.

2. Κονιορτούς που μπορεί να προκαλέσουν καρκίνο. Αφορούν κυρίως τα θυγατρικά προϊόντα από τη διάσπαση του ραδονίου, τον αμίαντο και τα μεταλλεύματα του αρσενικού.
3. Κονιορτούς τοξικούς (δηλητηριώδεις για ορισμένα όργανα και ιστούς του σώματος). Πρόκειται για τις σκόνες που προέρχονται από μεταλλεύματα βηρυλλίου, αρσενικού, μολύβδου, ουρανίου, χρωμίου, βαναδίου, καδμίου, αντιμονίου, μαγγανίου, νικελίου, αργύρου κλπ
4. Κονιορτούς ραδιενεργούς (επιβλαβείς λόγω των εκπεμπόμενων ακτινοβολιών α και β). Αφορούν τις σκόνες που προέρχονται από τα μεταλλεύματα ουρανίου, ραδίου και θορίου.
5. Κονιορτούς εκρηκτικούς. Πρόκειται για τις σκόνες των διαφόρων ανθράκων, όπως επίσης ορισμένων μετάλλων (Mg, Al, Zn, Sn) και θειούχων μεταλλευμάτων.
6. Κονιορτούς ενοχλητικούς (με μικρή επίδραση επί του οργανισμού). Αφορούν κυρίως τις σκόνες που προέρχονται από τον ασβεστόλιθο, τη γύψο, τον καολίνη κλπ.
7. Κονιορτούς αδρανείς (χωρίς επιβλαβή επίδραση επί του οργανισμού). Βέβαια, καμία σκόνη δε μπορεί με βεβαιότητα να υπαχθεί στην κατηγορία αυτή (Οικονομόπουλος, 1991).

Από πλευράς μεγέθους των τεμαχιδίων, φαίνεται ότι η περισσότερη επικίνδυνη περιοχή είναι μεταξύ 0.5 και 5 μικρών, δεδομένου ότι η κατακράτηση σκόνης αυτού του μεγέθους από τις πνευμονικές κυψελίδες είναι σημαντική (60% για τεμαχίδια 1 έως 2 μικρών). Επίσης όμως, επικίνδυνα είναι και τα τεμαχίδια τα μεγαλύτερα των 5 μικρών (ιδιαίτερα όταν εισπνέονται σε μεγάλες ποσότητες) ως και τα τεμαχίδια τα μικρότερα του 0.5 μικρού. Πάντως, ως αναπνεύσιμη σκόνη, θεωρούνται τα τεμαχίδια που έχουν μέγεθος μικρότερο των 5 μικρών.

Επιπλέον, το σχήμα των κονιορτών ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιείται “η προβαλλόμενη περιοχή ή ισοδύναμη γεωμετρική διάμετρος” για την ταξινόμηση τους ανάλογα με το σχήμα.

Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζεται το εύρος τιμών για τα πιο κοινά αερολύματα:

Πίνακας 3.2 Κλίμακα μεγέθους συνηθέστερων αερολυμάτων (McPherson, 1993).

Τύπος Αερολύματος	Εύρος μεγέθους σε μικρά (10^{-6} m)	
	Κατώτερο	Ανώτερο
Αναπνεύσιμη σκόνη	-	7
Άνθρακας και άλλες σκόνες πετρωμάτων	0.1	100
Κανονικές ατμοσφαιρικές σκόνες	0.001	20
Μόρια πετρελαίου	0.05	1
Ιοί	0.003	0.05
Βακτηρίδια	0.15	30
Καπνός τσιγάρου	0.01	1
Γύρη που προκαλεί αλλεργίες	18	60
Ομίχλη	5	50
Υδρονέφωση	50	100
Ελαφριά ψηλή βροχή	100	400

Φαίνεται ότι οποιασδήποτε φύσης σκόνη εισπνεόμενη σε σημαντικές ποσότητες και επί μακρό χρονικό διάστημα είναι επιβλαβής, γεγονός που σημαίνει ότι ο σχετικός έλεγχος στα μεταλλεία πρέπει να είναι εξαιρετικά αυστηρός, ανεξάρτητα από τη φύση των παραγόμενων κονιορτών.

Με τον όρο πνευμονοκονίαση, χαρακτηρίζονται οι ασθένειες που προέρχονται από την εισπνοή οποιασδήποτε φύσης σκόνη, ενώ ειδικότερα η σιλικώση αναφέρεται σε ασθένεια προερχόμενη από σκόνη ελεύθερου διοξειδίου του πυριτίου, η σιλικάτωση από σκόνη πυριτικών ορυκτών, η ανθράκωση από σκόνη άνθρακα, η μολυβδίαση από σκόνη μολύβδου, η ασβέστωση από σκόνη αμιάντου κλπ.

3.3 Κλίμα των υπογείων μεταλλείων

3.3.1 Πηγές Θερμότητας στα μεταλλεία

Ενδεχόμενη εκδήλωση υψηλών θερμοκρασιών στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις οδηγεί αναπόφευκτα στην ανάγκη ψύξης του περιβάλλοντος, ώστε η θερμοκρασία – σε συνδυασμό με την υφιστάμενη υγρασία- να καταστεί ανεκτή από το εργαζόμενο προσωπικό.

Είναι συνεπώς πρόδηλο ότι η γνώση των πηγών θερμότητας, δηλαδή των πηγών που μπορεί να προκαλέσουν αύξηση της θερμοκρασίας, αποτελεί παράγοντα μεγάλης σημασίας κατά την εκμετάλλευση των μεταλλείων, ιδιαίτερα σε μεγάλα σχετικά βάθη. Παράλληλα, η γνώση των δυνατοτήτων εκτίμησης ή θεωρητικού

υπολογισμού της ροής θερμότητας και η εφαρμογή διαφόρων μεθόδων μέτρησης αποκτούν επίσης σημαντική σημασία (Οικονομόπουλος, 1991).

3.3.2 Τα περιβάλλοντα πετρώματα

Η θερμοκρασία του αέρα ο οποίος απαιτείται για τον αερισμό ενός μεταλλείου και κυκλοφορεί μέσα σε αυτό επηρεάζεται από το γεγονός ότι οι στοές και γενικότερα οι υπόγειες εκσκαφές βρίσκονται μέσα σε πετρώματα των οποίων η θερμοκρασία είναι γενικά ανώτερη από τη θερμοκρασία του αέρα.

Είναι γνωστό ότι η εσωτερική θερμοκρασία της γήινης σφαίρας εκδηλώνεται στα ανώτερα στρώματα και μέχρι την επιφάνεια ως συνέπεια θερμικής ροής.

Στα περισσότερα κλίματα η θερμοκρασία των πετρωμάτων δεν επηρεάζεται από τις επιφανειακές μεταβολές της θερμοκρασίας και θεωρείται για λόγους αναφοράς, σταθερή μέχρι το βάθος των 15 μέτρων. Μετά από το βάθος αυτό η θερμοκρασία αυξάνεται, για δεδομένη περιοχή, κατά μάλλον ομοιόμορφο τρόπο.

Το βάθος που αντιστοιχεί για αύξηση κατά 1°C καλείται γεωθερμική βαθμίδα. Η γεωθερμική βαθμίδα δεν είναι σταθερή καθώς εξαρτάται από τη φύση και τα χαρακτηριστικά (κυρίως τη θερμική αγωγιμότητα) των εδαφών, το ανάγλυφο της επιφάνειας, τη γειτνίαση της περιοχής με ηφαιστειογενή ή μεταμορφωσιγενή πετρώματα, την παρουσία και κυκλοφορία υπόγειων νερών κλπ. Στις διάφορες εκμεταλλεύσεις η τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας μπορεί να μεταβάλλεται από θέση σε θέση, εξαρτώμενη από τη φύση και το πάχος των υπερκείμενων γεωλογικών σχηματισμών.

Συνεπώς, η σημασία της μέσης τιμής της γεωθερμικής βαθμίδας είναι σημαντική για τα μεταλλεία μεγάλου σχετικά βάθους και επηρεάζει κατά ουσιώδη τρόπο την αντιμετώπιση του προβλήματος του αερισμού τους.

Γνωρίζοντας την τιμή της ροής και το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ($\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C}$) των πετρωμάτων υπολογίζεται η γεωθερμική βαθμίδα με εφαρμογή απλών τύπων από τη θεωρία διάδοσης της θερμότητας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η μέση θερμική ροή της γης ανέρχεται σε 0.04 Kcal/hm^2 ή 0.05 W/m^2 .

Είναι φανερό, μετά τα προηγούμενα, ότι οι γεωλογικοί σχηματισμοί μέσα στους οποίους αναπτύσσεται το δίκτυο των μεταλλευτικών έργων αποτελούν θερμικές πηγές που μεταφέρουν θερμότητα στο εσωτερικό του μεταλλείου.

Τα πετρώματα τα οποία περιβάλλουν τις υπόγειες εκσκαφές είναι δυνατόν, σε πρώτη προσέγγιση, να θεωρηθούν ως μέσο ομοιογενές και ισότροπο, μέσα στο

οποίο η θερμότητα διαδίδεται με αγωγή. Σε κάθε σημείο του μέσου αυτού αντιστοιχεί, σε δεδομένη χρονική στιγμή, μία καθορισμένη θερμοκρασία. Υφίσταται συνεπώς ένα μεταβλητό θερμικό πεδίο στο οποίο η θερμοκρασία, σε κάθε σημείο, είναι συνάρτηση όχι μόνο της θέσης του στο χώρο αλλά και συνάρτηση του χρόνου.

Η μεταφορά θερμότητας από τα τοιχώματα του πετρώματος που περιβάλλει την εκσκαφή προς τον αέρα που αερίζει το μεταλλείο είναι ασταθής και περίπλοκη. Αρχικά και ενώ η όρυξη προχωρεί η ροή της θερμότητας επισυμβαίνει με πολύ υψηλό ρυθμό, προοδευτικά όμως τα τοιχώματα ψύχονται και η θερμοκρασία τους τείνει να εξισωθεί με αυτή του αέρα, πράγμα που επιβραδύνει τη μεταφορά θερμότητας.

Σε μεταλλεία με υψηλό βαθμό εκμηχάνισης η επίτευξη ταχυτάτων ρυθμών προχώρησης προκαλεί την εμφάνιση αυξημένων θερμοκρασιών στα μέτωπα, όπου και το μεγαλύτερο μέρος του προσωπικού είναι συγκεντρωμένο (Οικονομόπουλος, 1991).

Σημειώνεται ότι η υγρασία αποτελεί ουσιαστικό παράγοντα, δεδομένου ότι ενισχύει τη μεταφορά θερμότητας, υποβιβάζοντας την αντίσταση της διεπιφάνειας πετρώματος-αέρα στην πρόοδο του φαινομένου και ελαττώνοντας τη θερμοκρασία του ξηρού θερμομέτρου.

Τέλος, σημαντικά πρόσθετα θερμότητας μπορεί να προέρχονται από τη θραύση των πετρωμάτων και του μεταλλεύματος που επισυμβαίνει κατά τη διάρκεια της εκμετάλλευσης.

3.3.3 Η συμπίεση του αέρα στα φρέατα

Ο εισερχόμενος στο μεταλλείο αέρας δια μέσου φρεάτων συμπιέζεται και θερμαίνεται, καθώς ρέει προς βαθύτερους ορίζοντες. Εάν δεν επισυμβαίνουν ανταλλαγές στην περιεχόμενη θερμότητα και υγρασία του αέρα η συμπίεση χωρεί κάτω από αδιαβατικές συνθήκες και η αύξηση της θερμοκρασίας υπολογίζεται με τη βοήθεια των εξισώσεων που αφορούν στο έργο κατ' αδιαβατική μεταβολή.

Ακριβής υπολογισμός της αύξησης της θερμοκρασίας, που εμφανίζεται ως αποτέλεσμα της αυτοσυμπίεσης του αέρα στο φρέαρ δεν έχει ουσιαστική αξία, δεδομένου ότι οι συνθήκες που συνήθως επικρατούν δεν μπορεί να θεωρηθούν ως αδιαβατικές.

Πράγματι, η πρόσκτηση υγρασίας και θερμότητας από τα τοιχώματα που περιβάλλει το φρέαρ είναι αναπόφευκτη. Επιπροσθέτως η ύπαρξη σωληνώσεων

(νερού, αέρα, λιθογόμωσης κλπ) η ανέλκυση του μεταλλεύματος και γενικότερα η λειτουργία του απαραίτητου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού παρεμποδίζει ή παραλλάσσει την αυτοσυμπίεση του αέρα, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών της θερμοκρασίας που υπολογίζονται θεωρητικά και των πραγματικών τιμών που μετρούνται επί τόπου.

Οπωσδήποτε όμως, η αυτοσυμπίεση του αέρα αποτελεί μία από τις κύριες πηγές θερμότητας στα μεταλλεία και πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπ' όψη, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις προσπέλασης δια φρεάτων μεγάλου βάθους (Οικονομόπουλος, 1991).

3.3.4 Τα υπόγεια ύδατα

Τα υπόγεια ύδατα και ειδικότερα τα προερχόμενα από θερμές περιοχές πετρωμάτων αποτελούν αξιόλογη πηγή θερμότητας στα μεταλλεία, δεδομένου ότι η θερμότητα τους μπορεί να υπερβεί την αντιστοιχούσα στη γεωθερμική βαθμίδα.

Τα νερά μεταφέρουν τη θερμότητα τους στον αέρα του μεταλλείου κατά τη διαδικασία εξάτμισης. Συνεπώς η εξάτμιση πρέπει να ελαχιστοποιείται στις στοές κυκλοφορίας του αέρα με τη λήψη κατάλληλων μέτρων (αποφυγή εισροής νερών με στεγανοποίηση με εκτέλεση τσιμεντενέσεων, απομόνωση υδροφόρων περιοχών, κατασκευή καλυμμένων καναλιών απορροής, με τη δημιουργία σταθμών άντλησης κλπ).

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ταχύτητα εξάτμισης εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασιών του νερού και του αέρα, την ταχύτητα του αέρα και το μέγεθος της επιφάνειας του νερού. Συνεπώς, ανάλογα με τη διαφορά των θερμοκρασιών ο αέρας μπορεί να κερδίσει ή να χάσει θερμότητα (Οικονομόπουλος, 1991).

3.3.5 Οι οξειδώσεις

Κατά τη διαδικασία οξείδωσης ορισμένων- κυρίως θειούχων – μεταλλευμάτων, άνθρακα, υλικού λιθογόμωσης και ξυλίας είναι δυνατόν να παραχθούν μεγάλες ποσότητες θερμότητας που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα του μεταλλείου.

3.3.6 Άλλες δευτερεύουσες πηγές

Μεταξύ των άλλων πηγών που μπορεί να επηρεάσουν αυξητικά τη θερμοκρασία του αέρα των μεταλλείων περιλαμβάνονται:

- Οι ζώνες κατακρημνίσεων, ιδιαίτερα στην περίπτωση κατά την οποία σημειώνονται ανεξέλεγκτα βραχυκύκλωμα ρευμάτων αέρα, οπότε διευκολύνεται η εκδήλωση φαινομένων αυτοθέρμανσης

- Ο μεταβολισμός των εργαζομένων
- Η λειτουργία του πάσης φύσης εξοπλισμού
- Οι εκρηκτικές ύλες, κατά τη φάση της αποσύνθεσης τους, μετά την πυροδότηση
- Οι διάφορες σωληνώσεις (νερού και πεπιεσμένου αέρα)

Ειδικότερα σημειώνεται ότι η μέσω σωληνώσεων παροχή πεπιεσμένου αέρα στο μεταλλείο μπορεί να αποτελέσει πηγή μεταφοράς θερμότητας, πλην όμως οι ψυκτικές διατάξεις των συγχρόνων αεροσυμπιεστών εξισορροπούν τη θερμοκρασία πεπιεσμένου αέρα με αυτή του περιβάλλοντος, ούτως ώστε οι σωληνώσεις να παρουσιάζουν την ίδια περίπου θερμοκρασία με τη θερμοκρασία των στοών από τις οποίες διέρχονται (Οικονομόπουλος, 1991).

3.4 Η υγρασία των μεταλλείων-Γενικοί ορισμοί

Ο περιεχόμενος στον αέρα υδρατμός χαρακτηρίζεται, όπως είναι γνωστό, ως υγρασία και αποτελεί ένα από τους κύριους παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα των υπογείων μεταλλείων.

Η μάζα ατμού που αντιστοιχεί στη μονάδα μάζας ξηρού αέρα του μείγματος εκφράζει τη σε υγρασία περιεκτικότητα του αέρα.

Σχετική υγρασία ή υγρομετρικός βαθμός (ϕ) καλείται ο λόγος της μερικής πίεσης του υδρατμού (p_u) που περιέχεται στον αέρα προς την πίεση που θα είχε (p_k) εάν ο υγρός αέρας ήταν κορεσμένος στη δεδομένη θερμοκρασία, δηλαδή $\phi = p_u / p_k$.

Βαθμός κορεσμού (μ) καλείται ο λόγος του βάρους του ατμού που αντιστοιχεί στη μονάδα βάρους ξηρού αέρα, προς το βάρος ατμού που αντιστοιχεί στη μονάδα βάρους ξηρού αέρα σε μείγμα κορεσμένο, υπό αυτή τη θερμοκρασία.

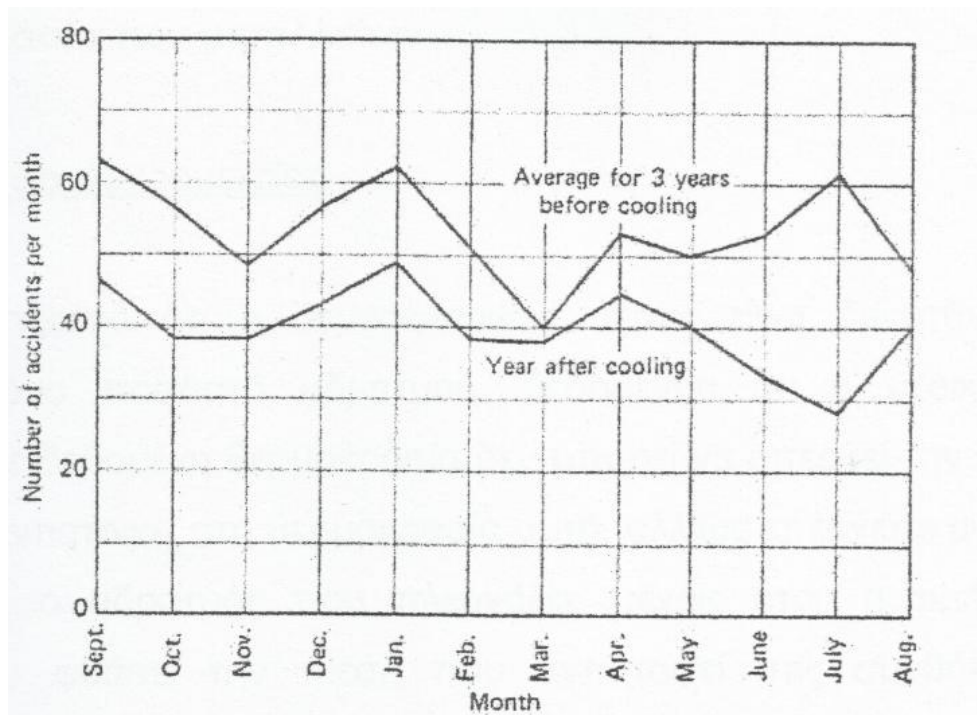
Για την εκτίμηση της υγρομετρικής κατάστασης του αέρα ενός μεταλλείου χρησιμοποιούνται κάποιες παράμετροι όπως, η απόλυτη υγρασία, η σχετική υγρασία, ο βαθμός κορεσμού και η θερμοκρασία (σημείο δρόσου). Εφ' όσον μία από τις παραμέτρους αυτές καθορισθεί, οι υπόλοιπες είναι δυνατόν να υπολογισθούν με τη βοήθεια απλών εξισώσεων ή διαγραμμάτων.

3.5 Επίδραση του κλίματος των μεταλλείων στον ανθρώπινο οργανισμό

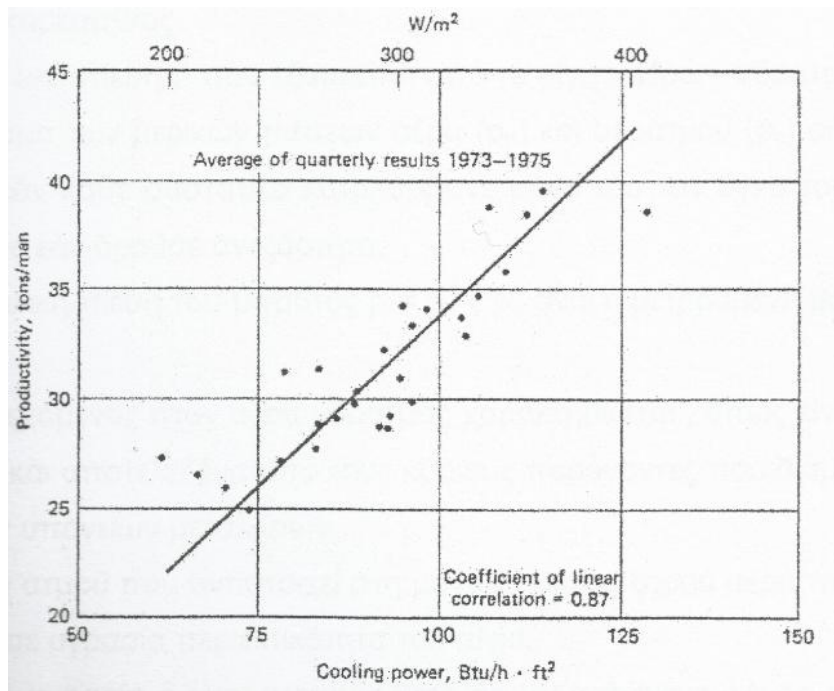
Σήμερα, σύμφωνα με τον Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ 2011) χρησιμοποιείται ο εμπειρικός δείκτης υγρασίας – θερμοκρασίας, που εξάγεται με βάση τις ενδείξεις του υγρού (θ_u) και του σφαιρικού (θ_σ) θερμομέτρου κατά την εξίσωση $\Delta = 0.7 * \theta_u + 0.3 * \theta_\sigma$, για την εκτίμηση της

επίδρασης του κλίματος στον ανθρώπινο οργανισμό. Ο δείκτης αυτός, προκειμένου να μη σημειωθεί θερμική καταπόνηση των εργαζομένων, ορίζεται στους 26-27° C (Οικονομόπουλος, 1991).

Στην εικόνα 3.3 παρατηρείται ότι με την εφαρμογή ψύξης σε μεταλλεία που υπάρχει ανάγκη μειώνονται τα ατυχήματα σε αισθητό βαθμό. Ακολουθεί συσχέτιση του κλιματισμού με την παραγωγή, όπου φαίνεται τα δύο αυτά μεγέθη να είναι ανάλογα, σύμφωνα με την εικόνα 3.4.



Εικόνα 3.3 Μηνιαίος αριθμός δευτερευόντων ατυχημάτων πριν και μετά την εφαρμογή κλιματισμού στο μεταλλείο Ooregum, στην Ινδία (Hartman, 1982).



Εικόνα 3.4 Σχέση μεταξύ καταναλωμένης ισχύος για κλιματισμό του μεταλλείου και παραγωγικότητας για μεταλλεία Χρυσού στη νότια Αφρική (Hartman, 1982).

4 ΑΡΧΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

4.1 Βασικά στοιχεία ροής

Η πλήρης κατανόηση του προβλήματος της ροής του αέρα στα μεταλλεία προϋποθέτει τη γνώση των βασικών τουλάχιστον αρχών της ρευστομηχανικής, δεδομένου ότι ο αερισμός των μεταλλείων αποτελεί ουσιαστικά εφαρμογή των αρχών αυτών στο δίκτυο των υπογείων εκσκαφών, που αποτελούν άλλωστε και τους αγωγούς ροής του αέρα.

Σε κυλινδρικό ευθύγραμμο αγωγό οι τροχιές των μορίων του αέρα είναι παράλληλες προς τον μεγάλο (κατά μήκος) άξονα του αγωγού όταν η ταχύτητα ροής είναι μικρή. Θεωρητικά θα έπρεπε να είχαμε ίση ταχύτητα σε όλα τα σημεία δεδομένης διατομής του αγωγού, πράγμα που δεν συμβαίνει λόγω της επίδρασης των τοιχωμάτων, με αποτέλεσμα τη βαθμιαία αύξηση της ταχύτητας μέχρι μιας μέγιστης τιμής που αντιστοιχεί στο μεγάλο άξονα και έπειτα βαθμιαία ελάττωση μέχρι μηδενισμού στο τοίχωμα.

Η ροή κατά την οποία τα “στοιχεία μάζας” της ύλης κινούνται ομαλά κατά στρώματα με διαφορετικές γενικά ταχύτητες από στρώμα σε στρώμα, ενώ σε δεδομένο στρώμα η κατανομή ταχύτητας σε όλη την έκταση μιας διατομής κάθετης στη διεύθυνση ροής είναι ομοιόμορφη, καλείται ροή στρωτή.

Η στρωτή ροή διατηρεί τη μορφή της όσο αυξάνεται η ταχύτητα, μέχρι μια ορισμένη μέγιστη (κρίσιμη) τιμή, πέρα από την οποία, για δεδομένο αγωγό, η μορφή της ροής αλλάζει απότομα, η συμμετρική κατανομή των ταχυτήτων σε σχέση με τον άξονα εξαφανίζεται και τα στοιχεία μάζας κινούνται σε ακανόνιστες τροχιές, με αποτέλεσμα να προκαλείται ανταλλαγή ορμής. Η ροή αυτή καλείται τυρβώδης.

Χαρακτηριστικό παράγοντα της ροής αποτελεί ο αδιάστατος αριθμός του Reynolds (που εκφράζεται ως συνάρτηση της ταχύτητας (v), της πυκνότητας (ρ) και του ιξώδους (ξ) του ρευστού, ως επίσης και της διαμέτρου D του αγωγού) δεδομένου ότι η κρίσιμη ταχύτητα μπορεί να υπολογισθεί σε συνάρτηση με τον αριθμό αυτό, πράγμα που σημαίνει ότι η τυρβώδης ροή επέρχεται σε ορισμένη τιμή του Reynolds.

Στους αγωγούς (στοές) του υπογείου μεταλλευτικού δικτύου είναι απαραίτητο να επικρατούν συνθήκες τυρβώδους ροής, για τον καλύτερο διασκορπισμό και απομάκρυνση των επικίνδυνων αερίων και κονιορτών.

Παρ' όλον ότι η κρίσιμη ταχύτητα ποικίλλει ανάλογα με το μέγεθος του αγωγού, εν τούτοις οι συνήθεις διαστάσεις των μεταλλευτικών εκσκαφών και οι επιβαλλόμενες ταχύτητες του ρεύματος του αέρα δημιουργούν σχεδόν πάντοτε συνθήκες τυρβώδους ροής, οι δε προκύπτουσες τιμές του αριθμού Reynolds (N_R) είναι εξαιρετικά υψηλές και οπωσδήποτε πολύ μεγαλύτερες από τη θεωρούμενη χαμηλότερη τιμή ($N_R \approx 2000$) κάτω της οποίας η ροή καθίσταται στρωτή. Αναφέρεται ότι $N_R = \frac{\rho v D}{\xi}$ (Οικονομόπουλος, 1991).

Οι περισσότερες μετρήσεις της ροής του αέρα σε συστήματα αερισμού βασίζονται στον όγκο του αέρα (m^3) που διέρχεται μέσω μιας δεδομένης διατομής ενός αγωγού στη μονάδα του χρόνου (s). Η μονάδα μέτρησης της παροχής είναι m^3/s και υπολογίζεται με βάση τον τύπο [4.1] :

$$Q = v \cdot A \quad \frac{m}{s} \cdot m^2 \text{ ή } \frac{m^3}{s}, \text{ όπου} \quad [4.1]$$

v: ταχύτητα του αέρα ($\frac{m}{s}$)

A: διατομή αγωγού (m^2)

4.2 Μορφές πίεσης

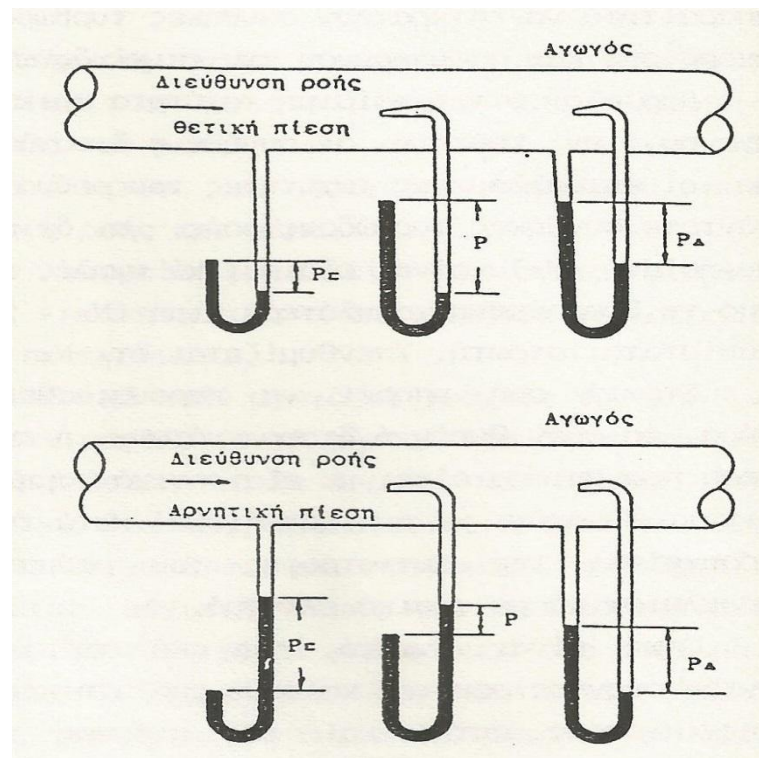
Η απόλυτη πίεση η οποία μετριέται με το βαρόμετρο εντός ρέοντος ρευστού καλείται απόλυτη πίεση του ρευστού αυτού. Η διαφορά μεταξύ της πίεσης αυτής και της πίεσης την οποία δείχνει κατά την ίδια στιγμή βαρόμετρο που βρίσκεται εκτός του ρέοντος ρευστού καλείται υπερπίεση ή υποπίεση ανάλογα με το αλγεβρικό σημείο της διαφοράς.

Η πίεση αυτή η οποία εισάγεται και στην εξίσωση κατάστασης του ρευστού καλείται και πίεση στατική P_z (είναι ουσιαστικά η πίεση που δέχονται τα τοιχώματα του αγωγού) μπορεί δε να μετρηθεί με σημαντική ακρίβεια με κατάλληλη τοποθέτηση μανομέτρου στο τοίχωμα του αγωγού, αλλά οπωσδήποτε δεν είναι πρακτικά δυνατόν να ληφθεί εντελώς ελεύθερη από την επιρροή της ταχύτητας του ρεύματος του αέρα.

Εξ' άλλου, αφού η μέση ταχύτητα (v) του ρεύματος του αέρα είναι γνωστή, η δυναμική πίεση P_Δ , οφειλόμενη στην κίνηση του αέρα και ασκούμενη κατά τη διεύθυνση της ροής του αέρα μόνο, μπορεί εύκολα να υπολογισθεί από τον τύπο

$$P_\Delta = \frac{\delta \cdot v^2}{2 \cdot g}, \text{ όπου } \delta \text{ το ειδικό βάρος του ρευστού και } g \text{ η επιτάχυνση της βαρύτητας, ή}$$

και να μετρηθεί με κατάλληλη τοποθέτηση μανομέτρου στον αγωγό. Από το άθροισμα της στατικής και δυναμικής πίεσης υπολογίζεται η ολική πίεση όπως φαίνεται στο σχήμα της εικόνας 4.1 που ακολουθεί:



Εικόνα 4.1 Πιέσεις στους αγωγούς (Οικονομόπουλος, 1991).

Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι στα προβλήματα αερισμού των μεταλλείων οι πιέσεις (ύψη στήλης) εκφράζονται σε χιλιοστά στήλης ύδατος (mm H₂O), ή σε Pascal (Pa) [1mm H₂O ≈ 10 Pa](Οικονομόπουλος,1991).

4.3 Απώλειες πίεσης κατά τη ροή- τύποι υπολογισμού

Στον αερισμό των υπογείων μεταλλείων, όπως άλλωστε και σε άλλα πεδία εφαρμογής των αρχών της μηχανικής των ρευστών, ενδιαφέρουν περισσότερο οι υφιστάμενες διαφορές πίεσης, παρά οι απόλυτες τιμές των πιέσεων.

Η ροή στους αγωγούς προκαλείται μόνον όταν κάποια διαφορά πίεσης δημιουργηθεί μεταξύ δύο σημείων του συστήματος. Συνεπώς, ενέργεια η οποία παρέχεται, είτε από φυσική, είτε από μηχανική πηγή και δημιουργεί αυτή τη διαφορά πίεσης δαπανάται για να υπερνικηθούν οι απώλειες πίεσης κατά τη ροή.

Οι απώλειες πίεσης (h) μπορεί να διαιρεθούν σε δύο διαφορετικές ομάδες, ανάλογα με την αιτία από την οποία προέρχονται, όπως αναπτύσσονται στις δύο επόμενες ενότητες.

4.3.1 Απώλειες πίεσης λόγω τριβών

Οι απώλειες πίεσης λόγω τριβών (h_T), προκαλούνται από την επαφή των ρευμάτων αέρα με τα τοιχώματα των αγωγών.

Οι απώλειες πίεσης λόγω τριβών εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τις διαστάσεις των αγωγών που συνθέτουν το δίκτυο του μεταλλείου, με την κατάσταση των τοιχωμάτων τους, ως και την ταχύτητα του ρεύματος του αέρα.

Οι απώλειες αυτές σε ευθεία τμήματα, ομοιόμορφης περίπου διατομής, αποτελούν το μέγιστο μέρος των συνολικών απωλειών πίεσης, σε οποιοδήποτε σχεδόν τύπο ή σύστημα αερισμού.

Σε μηχανικώς αεριζόμενα μεταλλεία οι απώλειες πίεσης από τριβές στις κύριες στοές ανέρχονται σε 70 έως 90% του συνόλου, παρ' όλο ότι σε ορισμένες, αλλά οπωσδήποτε λίγες, περιπτώσεις το ποσοστό αυτό είναι σημαντικά χαμηλότερο. Συνεπώς, οι απώλειες αυτές είναι κατά κανόνα πολύ μεγαλύτερης σημασίας σε σύγκριση με τις απώλειες λόγω κρούσεων και απαιτούν περισσότερη προσοχή και ακρίβεια κατά τους σχετικούς υπολογισμούς (Οικονομόπουλος, 1991).

Κατά τη μελέτη των προβλημάτων αερισμού των μεταλλείων οι απώλειες πίεσης λόγω τριβών υπολογίζονται από τον ακόλουθο τύπο [4.2], γνωστό ως τύπο Murgue ή Atkinson:

$$h_T = \frac{K * L * \Pi}{S} * v^2, \text{ όπου} \quad [4.2]$$

h_T : απώλειες πίεσης από τριβές (mm H₂O ή kp/m²)

L : μήκος του αγωγού (m)

Π : περίμετρος του αγωγού (m)

S : διατομή του αγωγού (m²)

v : ταχύτητα του ρεύματος του αέρα (m/s)

και K : εμπειρικός συντελεστής τριβής (kp s² m⁻⁴)

Δεδομένου ότι η παροχή Q (m³/s) συνδέεται με τα μεγέθη S και v με τον τύπο $Q = S * v$, εύκολα προκύπτει ότι

$$h_T = \frac{K * L * \Pi}{S^3} * Q^2$$

Ο συντελεστής K θεωρείται ως ανεξάρτητος της παροχής και εξαρτάται από το σχήμα της διατομής των αγωγών, το είδος υποστήριξης αυτών ως και την κατάσταση των τοιχωμάτων τους (παρειές, οροφή και δάπεδο).

4.3.2 Απώλειες πίεσης λόγω κρούσεων

Απώλειες πίεσης λόγω κρούσεων (h_k), προκαλούμενες από τη μεταβολή της διατομής των αγωγών στους οποίους κινούνται τα ρεύματα του αέρα.

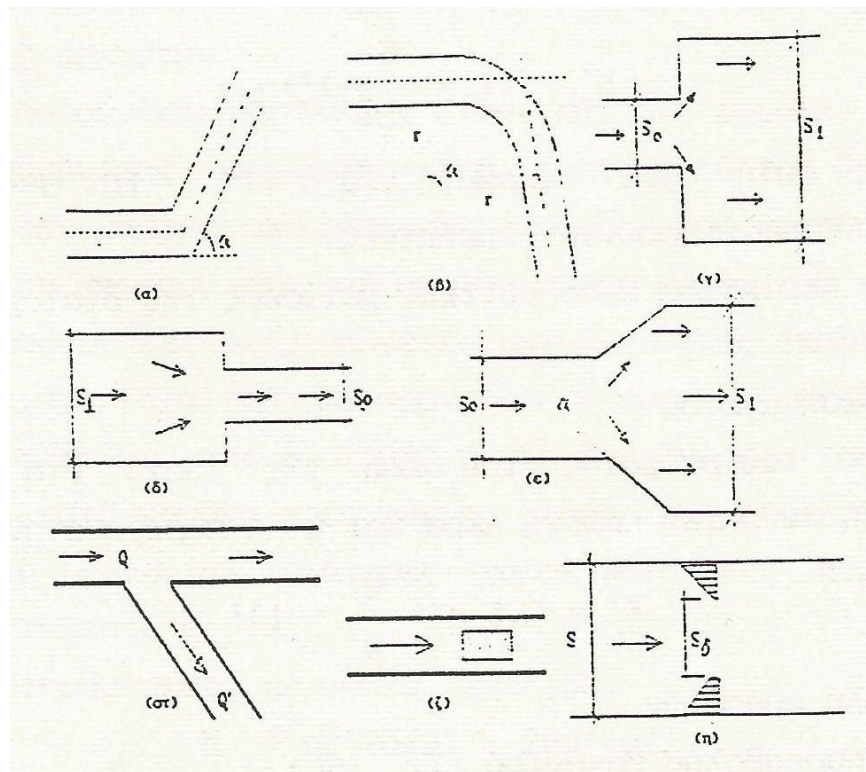
Οι απώλειες πίεσης λόγω κρούσεων προκαλούνται κατόπιν μεταβολής της επιφάνειας που καταλαμβάνεται από τα ρεύματα του αέρα και συνεπώς της σχετικής θέσης των τοιχωμάτων αναφορικά με τις γραμμές ροής. Επομένως, εάν στους αγωγούς του μεταλλείου υφίστανται αλλαγές της διατομής ή της διεύθυνσης, επισυμβαίνουν απώλειες πίεσης λόγω κρούσεων, οι οποίες επιτείνονται εάν παρεμβάλλονται και εμπόδια (βαγόνια, ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, υλικά κλπ). Τέτοιες διατάξεις παρουσιάζονται στην εικόνα 4.2.

Οι απώλειες αυτές ανέρχονται σε 10 έως 30% των συνολικών αλλά ο ακριβής υπολογισμός τους δεν είναι εύκολος λόγω της ποικιλίας των συνθηκών υπό τις οποίες μπορεί να συμβούν.

Οι απώλειες λόγω κρούσεων είναι ανάλογες με τη δυναμική πίεση της ροής (P_Δ) που αντιστοιχεί στη μέση ταχύτητα του ρευστού, ως επίσης και με ένα συντελεστή K' που υπολογίζεται πειραματικά και καλείται συντελεστής κρούσης. Υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο [4.3]:

$$h_k = K' * P_\Delta = K' * \frac{\delta * v^2}{2 * g} \quad [4.3]$$

Δεδομένου ότι τα μεγέθη h_k και P_Δ εκφράζονται με τις ίδιες μονάδες και επηρεάζονται με τον αυτό τρόπο από τις μεταβολές της πυκνότητας του αέρα είναι φανερό ότι ο συντελεστής K' είναι αδιάστατος και από αυτή την πλευρά διαφέρει από το συντελεστή τριβής K , είναι όμως σε γενικές γραμμές ανάλογος με αυτόν (Οικονομόπουλος, 1991).



Εικόνα 4.2 Μορφές διατομών σε σχέση με το συντελεστή κρούσης K' (Οικονομόπουλος, 1991).

Για λόγους απλοποίησης, η εισαγωγή της έννοιας του ισοδύναμου μήκους, δηλαδή του ευθύγραμμου μήκους του δεδομένου αγωγού στο οποίο σημειώνεται πτώση πίεσης ίση προς εκείνη που επισυμβαίνει λόγω της παρεμβολής εμποδίου στην ελεύθερη ροή του αέρα, φαίνεται να οδηγεί προς ένα γενικά παραδεκτό τρόπο υπολογισμού των απωλειών πίεσης λόγω κρούσεων.

Στον πίνακα 4.1 δίνονται τιμές ισοδύναμων μηκών για χαρακτηριστικές περιπτώσεις, με την εφαρμογή των οποίων (τιμών) επιτυγχάνεται ικανοποιητική ακρίβεια κατά την εκτέλεση υπολογισμών απαραίτητων στη συνηθισμένη μεταλλευτική πρακτική. Οι τιμές του πίνακα προέκυψαν κατόπιν επιλογής συντελεστή απωλειών λόγω τριβών K ίσο με $0.00180 \text{ kps}^2\text{m}^{-4}$ που αντιστοιχεί σε στοά χωρίς εμπόδια υποστηριγμένη με ξύλινα πλαίσια, τοποθετημένα σε αποστάσεις 1.5 μέτρων και με τοιχώματα μετρίως ανώμαλα (Οικονομόπουλος, 1991).

Πίνακας 4.1 Ισοδύναμα μήκη για διατάξεις σε αγωγούς που προκαλούν απώλειες πιέσεων λόγω κρούσεων (Οικονομόπουλος, 1991).

Διάταξη	Ισοδύναμο μήκος (m)
Αλλαγή διεύθυνσης (βλ. εικόνα 4.2α) Γωνία ορθή	20
Αλλαγή διεύθυνσης (βλ. εικόνα 4.2α) Γωνία οξεία	45
Αλλαγή διεύθυνσης (βλ. εικόνα 4.2α) Γωνία αμβλεία	5
Αλλαγή διεύθυνσης (βλ. εικόνα 4.2β) Γωνία ορθή	0.3
Αλλαγή διεύθυνσης (βλ. εικόνα 4.2β) Γωνία οξεία	0.3
Αλλαγή διεύθυνσης (βλ. εικόνα 4.2β) Γωνία αμβλεία	1
Αύξηση της διατομής (βλ. εικόνα 4.2γ) Απότομη	6
Αύξηση της διατομής (βλ. εικόνα 4.2ε) Σταδιακή	1
Μείωση της διατομής (βλ. εικόνα 4.2δ) Απότομη	3
Διακλάδωση (βλ. εικόνα 4.2στ)	10
Είσοδος του αέρα (χωρίς ανεμιστήρα)	6
Έξοδος του αέρα (χωρίς ανεμιστήρα)	20
Παρεμβολή βαγονιού (Κάλυψη διατομής κατά 20%, βλ. εικόνα 4.2ζ)	30
Παρεμβολή βαγονιού (Κάλυψη διατομής κατά 40%, βλ. εικόνα 4.2ζ)	150

Είναι τώρα φανερό ότι με τη χρησιμοποίηση του ισοδύναμου μήκους (Le), οι ολικές απώλειες πίεσης (λόγω τριβών και κρούσεων) υπολογίζονται με τη βοήθεια του τύπου [4.4]:

$$h = h_t + h_k = \frac{K \cdot \Pi \cdot (L + Le) \cdot Q^2}{S^3} \quad [4.4]$$

4.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη του μεταλλείου

4.4.1 Αντίσταση

Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο $h = \frac{K \cdot \Pi \cdot (L + Le) \cdot Q^2}{S^3}$ παρατηρείται ότι, για δεδομένο αγωγό, το μέγεθος $\frac{K \cdot \Pi \cdot (L + Le)}{S^3}$ είναι σταθερό. Αυτό καλείται αντίσταση του αγωγού, R , η οποία εκφράζεται σε $\text{kp s}^2 \text{m}^{-8}$ ή $\text{Ns}^2 \text{m}^{-8}$

Προκύπτει έτσι η θεμελιώδης εξίσωση [4.5] (Murgue, Atkinson) του αερισμού των μεταλλείων

$$h = R \cdot Q^2 \quad [4.5]$$

Είναι φανερό, ότι ο υπολογισμός της αντίστασης των στοών δεν παρουσιάζει κατά κανόνα δυσχέρειες, εάν ο συντελεστής τριβής επιλεγεί με επιτυχία από τους σχετικούς πίνακες όπως για παράδειγμα στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 Τιμές του συντελεστή τριβής K ($\text{kr} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-4}$ ή $\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 10^{-1}$) (Για κανονικό ειδικό βάρος αέρα και με μέτρια κατάσταση ανωμαλιών στα τοιχώματα) (Οικονομόπουλος, 1991).

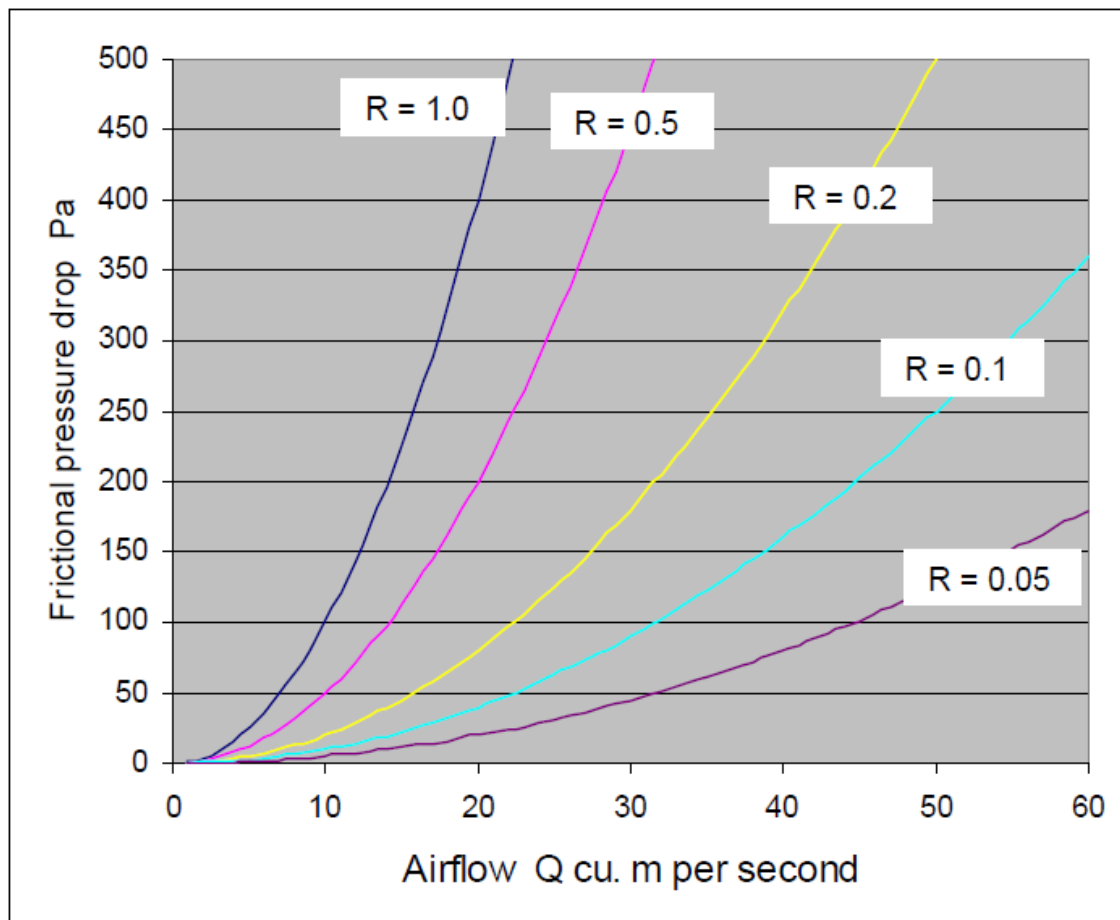
Μεταλλικά μεταλλεία			
	Χωρίς εμπόδια	Με λίγα εμπόδια	Με αρκετά εμπόδια
α) Στοές ευθύγραμμες			
Με επένδυση	0.00028	0.00038	0.00057
Με υποστήριξη (πλαίσια ανά 1.5 m)	0.00180	0.00190	0.00208
Σε ιζηματογενή πετρώματα	0.00100	0.00113	0.00132
Σε πυριγενή πετρώματα	0.00270	0.00283	0.00300
β) Στοές μέτριας καμπυλότητας			
Με επένδυση	0.00057	0.00066	0.00085
Με υποστήριξη (πλαίσια ανά 1.5 m)	0.00200	0.00217	0.00237
Σε ιζηματογενή πετρώματα	0.00132	0.00142	0.00161
Σε πυριγενή πετρώματα	0.00303	0.00312	0.00331

4.4.2 Χαρακτηριστική καμπύλη του μεταλλείου

Όπως προκύπτει από την θεμελιώδη εξίσωση του αερισμού, $h = R \cdot Q^2$, οι απώλειες πίεσης μεταβάλλονται ανάλογα με το τετράγωνο της παροχής. Συνεπώς, για δεδομένο σύστημα υφίσταται μια σταθερή αναλογία μεταξύ πιέσεων και παροχών και επομένως εάν το μέγεθος h καθορισθεί για συγκεκριμένη παροχή Q , είναι εύκολο να προκύψουν οι τιμές οποιουδήποτε ζεύγους Q , h αφού ουσιαστικά η αντίσταση ($R = h \cdot Q^{-2}$) αποτελεί ένα συντελεστή αναλογίας.

Διευκρινίζεται ότι ο όρος “σύστημα” μπορεί να υποδηλώνει αγωγό, τμήμα ή και το σύνολο του μεταλλείου, υπό την προϋπόθεση ότι το τελευταίο εξυπηρετείται από ένα και μόνο κύριο ανεμιστήρα.

Εφ’ όσον η τιμή της αντίστασης υπολογισθεί, είτε θεωρητικά, είτε με κατάλληλες μετρήσεις, το θέμα μπορεί να αντιμετωπισθεί γραφικώς με τη χάραξη παραβολικής καμπύλης (σε συντεταγμένες Q , h) (εικόνα 4.3) η οποία, εάν αφορά το συνολικό δίκτυο, καλείται χαρακτηριστική καμπύλη του μεταλλείου (Οικονομόπουλος, 1991).



Εικόνα 4.3 Χαρακτηριστική καμπύλη μεταλλείου για διάφορες τιμές της αντίστασης, R (McPherson, 1993).

Συνήθως η χάραξη της καμπύλης αυτής γίνεται σε σχέση με τη στατική πίεση του μεταλλείου, είναι όμως συχνά χρήσιμο να αναφέρεται και στην ολική πίεση.

Η απαραίτητη ενέργεια, E, που απαιτείται για να υπερνικηθούν οι απώλειες πίεσης που αντιστοιχούν στη στατική πίεση του μεταλλείου προκειμένου να διοχετευθεί μέσα από το δίκτυο ποσότητα αέρα, Q, δίδεται από τη σχέση [4.6]:

$$E = Q * h \quad [4.6]$$

Επομένως η απαιτούμενη ισχύς N, σε ίππους (HP) υπολογίζεται από τη σχέση [4.7]:

$$N = \frac{1}{75} * Q * h \quad [4.7]$$

4.5 Επίλυση δικτύων αερισμού

Η μελέτη, ανάλυση και επίλυση των δικτύων αερισμού βασίζεται ουσιαστικά στις σχέσεις που συνδέουν τα χαρακτηριστικά μεγέθη του μεταλλείου, όπως επίσης και στην εφαρμογή των νόμων του Kirchhoff οι οποίοι αν και αναπτύχθηκαν για τα

ηλεκτρικά κυκλώματα ισχύουν κατά παραλληλισμό και στα κυκλώματα αερισμού των μεταλλείων.

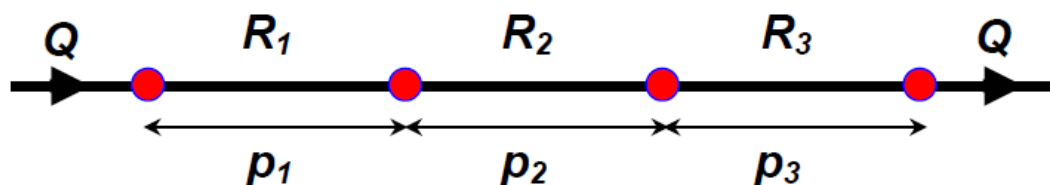
Η επίλυση των δικτύων, βασίζεται στην προϋπόθεση ότι το ειδικό βάρος του αέρα κατά μήκος του δικτύου παραμένει σταθερό. Αυτό βεβαίως δεν είναι ακριβές για πολλούς λόγους, εάν όμως η παραδοχή αυτή δεν γίνει αποδεκτή, οι δυσχέρειες που αντιμετωπίζονται κατά τη διαδικασία επίλυσης ενός δικτύου, είναι κατά κανόνα ανυπέρβλητες. Ανεξάρτητα όμως από αυτό, η εν λόγω παραδοχή δεν συνεπάγεται αισθητές αποκλίσεις των υπολογισμών από την πραγματικότητα, ενώ συγχρόνως ορισμένοι από τους άλλους παράγοντες που υπεισέρχονται στο πρόβλημα χαρακτηρίζονται από πολύ μεγαλύτερη ασάφεια ή αβεβαιότητα.

Κατά τον πρώτο Νόμο Kirchhoff σε κάθε κόμβο το άθροισμα των παροχών που φθάνουν σ' αυτόν ισούται με το άθροισμα των παροχών που εγκαταλείπουν. Συνεπώς, εάν μια παροχή που φθάνει στον κόμβο θεωρηθεί θετική, ενώ μια παροχή που τον εγκαταλείπει θεωρηθεί αρνητική, είναι φανερό ότι το αλγεβρικό άθροισμα όλων των παροχών ισούται με μηδέν, δηλαδή $\Sigma Q=0$.

Κατά το δεύτερο νόμο του Kirchhoff, το αλγεβρικό άθροισμα των απωλειών πίεσης κατά μήκος οποιουδήποτε κλειστού κυκλώματος (βρόγχου) που αποτελείται από παρακείμενους κλάδους ισούται με μηδέν, δηλαδή $\Sigma h=0$.

Θεωρούνται ως θετικές τις απώλειες πίεσης εάν οι παροχές των κλάδων ρέουν κατά τη διεύθυνση των δεικτών του ωρολογίου και ως αρνητικές εάν ρέουν αντίθετα.

4.5.1 Σύνδεση αγωγών σε σειρά



Εικόνα 4.4 Αγωγοί συνδεδεμένοι σε σειρά (McPherson, 1993).

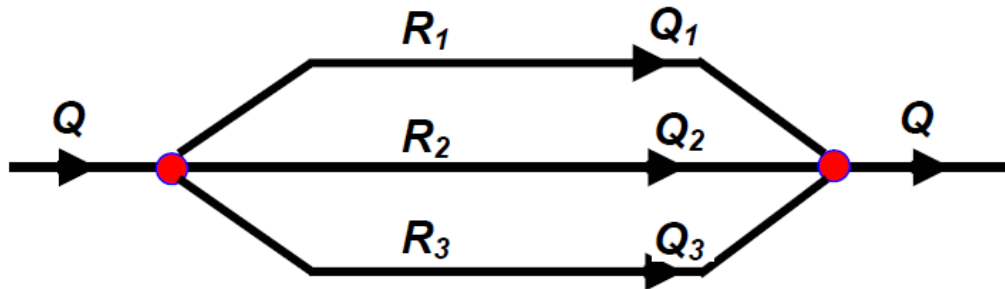
Έστω ότι ένα δίκτυο αποτελείται από τρεις αγωγούς σε σειρά (Εικόνα 4.4). Εάν p_1, p_2, p_3 οι απώλειες πίεσης και R_1, R_2, R_3 οι αντιστάσεις των αγωγών αυτών, τότε για παροχή Q :

$$p = p_1 + p_2 + p_3, \quad p_1 = R_1 \cdot Q^2, \quad p_2 = R_2 \cdot Q^2, \quad p_3 = R_3 \cdot Q^2$$

και επομένως η ισοδύναμη (ολική) αντίσταση R του κυκλώματος ισούται με το άθροισμα των μερικών αντιστάσεων, όπως συμβαίνει και σε ανάλογο ηλεκτρικό κύκλωμα, δηλαδή

$$R_{ολ} = R_1 + R_2 + R_3$$

4.5.2 Παράλληλη σύνδεση αγωγών



Εικόνα 4.5 Αγωγοί συνδεδεμένοι παράλληλα (McPherson, 1993).

Σε περίπτωση αγωγών με παράλληλη σύνδεση, οι απώλειες πίεσης μεταξύ των δύο κοινών άκρων, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5, είναι αυτές για όλους τους αγωγούς (McPherson, 1993).

Εύκολα προκύπτει ότι:
$$\frac{1}{\sqrt{R_{ολ}}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \frac{1}{\sqrt{R_3}}$$

4.6 Μετρήσεις Αερισμού

Οι μετρήσεις της ροής (παροχές, πιέσεις) του αέρα πρέπει να λαμβάνονται σε όλες τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις, σε τόπο και χρόνο που προβλέπεται από το νόμο για τους παρακάτω λόγους:

- να εξασφαλίσουν ότι όλοι οι τόποι εργασίας των υπογείων εκμεταλλεύσεων τροφοδοτούνται, με την απαιτούμενη ποσότητα αέρα, με αποδοτικό και αποτελεσματικό τρόπο
- να διατηρούν τα σχέδια αερισμού ενημερωμένα
- να επαληθεύουν ότι οι κατευθύνσεις και οι ποσότητες του αέρα παραμένουν σταθερές σε σύγκριση με τον σχεδιασμό αυτών

Στόχος αυτών των μετρήσεων είναι η λήψη δεδομένων για τις πτώσεις πίεσης, p , καθώς και τις αντίστοιχες παροχές, Q , για κάθε κλάδο του δικτύου αερισμού. Από τα δεδομένα αυτά είναι δυνατόν να υπολογιστούν, τόσο για τον σχεδιασμό όσο και για τη διαχείριση, οι παρακάτω παράμετροι:

- η διανομή της ροής του αέρα, οι πτώσεις και οι απώλειες πίεσης

- οι απώλειες παροχών και, ως εκ τούτου, η κατανομή των εξόδων λειτουργίας διαμέσου του δικτύου
- η ογκομετρική απόδοση του συστήματος
- οι αντιστάσεις των κλάδων
- οι επιδράσεις του φυσικού αερισμού
- οι συντελεστές τριβών

4.6.1 Παροχή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, με την βοήθεια της σχέσης $Q = v \cdot A$, γνωρίζοντας την ταχύτητα του αέρα, v , και την διατομή του αγωγού, A , μπορεί εύκολα να υπολογιστεί η παροχή, Q .

Συνήθως, η μέτρηση της ταχύτητας του αέρα, v σε (m/s), επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός οργάνου, το ανεμόμετρο με μιλίσκο. Ο μιλίσκος των ανεμόμετρων περιστρέφεται με ταχύτητα ανάλογη με την ταχύτητα του αέρα και η περιστροφική κίνηση μετατρέπεται με κατάλληλο μηχανισμό του οργάνου σε γραμμική που μπορεί εύκολα να αναγνωσθεί με απλή ή και ηλεκτρονική (ψηφιακή) διάταξη (McPherson, 1993).

Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι ανάλογα με τη διακύμανση των τιμών της ταχύτητας του αέρα, χρησιμοποιούνται αντίστοιχα ανεμόμετρα με διαφορετική ευαισθησία καταγραφής των μετρήσεων. (ανεμόμετρο με νήμα, ανεμόμετρο με πηγή φωτός, θερμο-ανεμόμετρο).

Στις εικόνες 4.6, 4.7 και 4.8 παρουσιάζονται τρεις διαφορετικοί τύποι ανεμομέτρων.



Εικόνα 4.6 Αναλογικό
ανεμόμετρο (McPherson, 1993)



Εικόνα 4.7 Θερμο-ανεμόμετρο
(McPherson, 1993)



Εικόνα 4.8 Ψηφιακό
ανεμόμετρο (McPherson, 1993)

Στο μεταλλείο Ολυμπιάδας χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά όργανα μέτρησης της ταχύτητας του αέρα, το αναλογικό ανεμόμετρο με μυλίσκο και το θερμικό ανεμόμετρο.

Το ανεμόμετρο με μυλίσκο λειτουργεί με το ρεύμα ροής του αέρα που προσκρούει στα πτερύγια αναγκάζοντάς τα να περιστρέφονται. Η περιστροφή αυτή γίνεται αισθητή από ένα μαγνητικό ή οπτικό αισθητήρα ο οποίος μετατρέπει το σήμα αυτό σε μέτρηση της ταχύτητας του αέρα, συνήθως σε m/s. Κάθε ανεμόμετρο παρουσιάζει συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής από πλευράς ταχύτητας αέρα, δεδομένου ότι χρειάζεται μια ελάχιστη ταχύτητα για να περιστρέψει τον δίσκο με τα πτερύγια.

Το θερμικό ανεμόμετρο λειτουργεί με βάση την αρχή μεταφοράς θερμότητας. Ο αισθητήρας σύρματος θερμαίνεται μέσω του ρεύματος θερμοκρασίας περιβάλλοντος-μέτρησης που διαπερνά μία ηλεκτρική αντίσταση όπου η μεταβολή θερμότητας μετατρέπεται, μέσω ειδικού αλγορίθμου, σε ένδειξη της ταχύτητας του αέρα. Προκύπτει εύκολα λοιπόν ότι τα θερμικά ανεμόμετρα είναι πιο ευαίσθητα σε τυρβώδη ροή, πράγμα που μειώνει την ακρίβεια των μετρήσεων σε αντίστοιχες συνθήκες.

Όπως προαναφέρθηκε ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στα σημεία μέτρησης επηρεάζεται και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Στις συνθήκες αυτές συμπεριλαμβάνονται ο τρόπος μέτρησης, η ροή και η ταχύτητα του αέρα καθώς και η θερμοκρασία του.

Η βαθμονόμηση των οργάνων αυτών είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία τους. Τόσο για το αναλογικό ανεμόμετρο, που ενδεχομένως να έχει υποστεί βλάβη στα πτερύγια, όσο για το θερμικό ανεμόμετρο λόγω της σκόνης που μπορεί να έχει συγκεντρωθεί γύρω από τον αισθητήρα.

Σημαντικό παράγοντα στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων αποτελεί ο χειριστής του οργάνου στις μετρήσεις που γίνονται με το χέρι. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε είδος οργάνου μέτρησης της ταχύτητας του αέρα λειτουργεί καλύτερα σε διαφορετικό εύρος τιμών.

Οι Thimons και Kohler (1985) προχώρησαν σε σύγκριση μετρήσεων παροχής από δύο διαφορετικά όργανα μέτρησης. Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής όπου γίνεται σύγκριση των σφαλμάτων μετρήσεων από τα δύο αυτά όργανα μέτρησης σε ίδιες συνθήκες για διαφορετικές τιμές της παροχής:

Πίνακας 4.3 Σύγκριση ακρίβειας των διαφόρων μεθόδων προσδιορισμού της ταχύτητας του αέρα, % (Thimons and Kohler, 1985).

Ταχύτητα αέρα (m/s)	0.18	0.26	0.31	0.47	0.69	0.95	1.73	3.3
Ανεμόμετρο με μυλίσκο								
Χέρι	±5	±4	±1	±2	±2	±1	±2	±1
Ράβδος	±7	±3	±1	±2	±2	±1	±1	±1
Απομακρυσμένη	Δμ	±3	±2	±2	±1	±1	±1	±2
Θερμικό ανεμόμετρο								
Χέρι	±14	±13	±7	±4	±5	±5	Δμ	Δμ
Απομακρυσμένη	±12	±12	±5	±9	±5	±4	Δμ	Δμ
Δμ=δε μετρήθηκε								
*Όλες οι μετρήσεις έγιναν στο κέντρο της διατομής των αγωγών								

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι οι μετρήσεις που γίνονται με ανεμόμετρο με μυλίσκο, στερεομένο σε κατάλληλη ράβδο, είναι πιο αξιόπιστες. Γενικά τώρα παρατηρείται ότι οι αποκλίσεις των οργάνων κυμαίνονται από 1% έως και 14% σε κάποιες περιπτώσεις.

Ο υπολογισμός της μέσης ταχύτητας του αέρα, με τη βοήθεια του ανεμομέτρου, μπορεί να επιτευχθεί:

- 1) Με εκτέλεση μέτρησης σε ένα και μοναδικό σημείο της διατομής (γεωμετρικό κέντρο της διατομής).

- 2) Με εκτέλεση μετρήσεων σε περισσότερα σημεία της διατομής (“σάρωση” της διατομής).

Τέλος, για τη διόρθωση της ταχύτητας, η οποία μπορεί να μετρείται μικρότερη ή μεγαλύτερη από την πραγματική λόγω παρεμβολής εμποδίων χρησιμοποιούνται κάποιοι συντελεστές διόρθωσης ανάλογα με το όργανο και τη θέση μέτρησης (McPherson, 1993).

4.6.2 Πίεση

Υπάρχουν δύο τρόποι μέτρησης της πίεσης. Η πιο ακριβής μέθοδος είναι αυτή “του μανομέτρου και του σωλήνα” ή αλλιώς “μέθοδος συρόμενου σωλήνα”, στην οποία τα δύο άκρα των σταθμών, που πρόκειται να γίνει η μέτρηση, συνδέονται με σωλήνες και η πτώση πίεσης λόγω τριβών μετρείται κατ’ ευθείαν. Η δεύτερη μέθοδος, για την οποία υπάρχουν πολλές παραλλαγές, περιλαμβάνει την παρατήρηση της απόλυτης πίεσης σε βαρόμετρο ή αλτίμετρο σε κάθε σταθμό.

Γενικά, σε περιοχές που είναι δυνατή η πρόσβαση του προσωπικού χρησιμοποιείται η πρώτη μέθοδος, ενώ σε άλλη περίπτωση, συνήθως εφαρμόζεται η δεύτερη μέθοδος.

Μέθοδος συρόμενου σωλήνα: Στην εικόνα 4.9 παρουσιάζονται οι αρχές της μεθόδου αυτής. Ένας μετρητής πίεσης (μανόμετρο) συνδέεται κατά μήκος του σωλήνα, του οποίου τα άλλα άκρα είναι συνδεδεμένα με τις συνολικές τάπες των κεφαλών των σωληνώσεων στατικής πίεσης, που βρίσκονται στα τέλος των σταθμών μετρήσεων. Στην πράξη, βέβαια, η σωληνώση και τα όργανα μέτρησης βρίσκονται όλα μέσα στον αγωγό.

Με τη βοήθεια της εξίσωσης ενεργειακής σταθερής ροής [4.8] για έναν αγωγό που βρίσκεται μεταξύ των σταθμών 1 και 2 χωρίς την ύπαρξη ανεμιστήρα:

$$(u_1^2 - u_2^2)/2 + (Z_1 - Z_2) * g = \int_1^2 V * dP + F_{12}, \text{ όπου} \quad [4.8]$$

u = ταχύτητα του αέρα (m/s)

Z = ύψος πάνω από το σημείο αναφοράς του μεταλλείου (m)

g = επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)

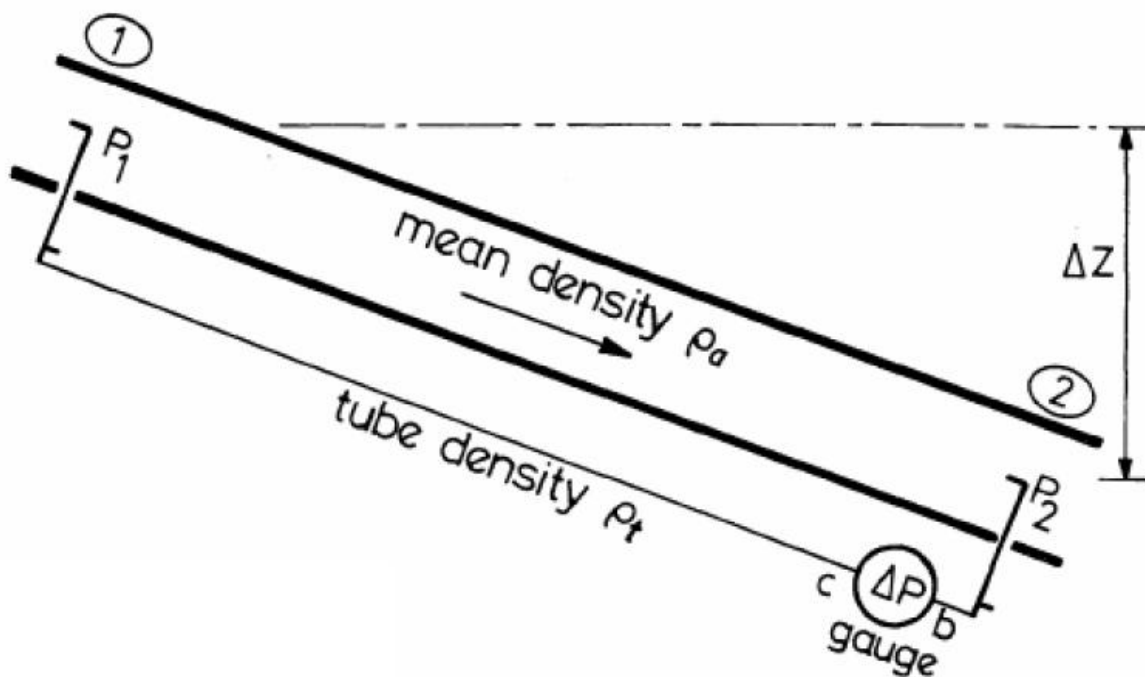
V = ειδικός όγκος του αέρα ($= 1/\rho$) (m^3/kg)

και F_{12} = έργο που παράγεται κατά της τριβής (J/kg)

Με την προϋπόθεση ότι υπάρχει γραμμική μεταβολή της πυκνότητας του αέρα μεταξύ των σταθμών 1 και 2, λαμβάνεται η παραδοχή για μια μέση αριθμητική

τιμή της πυκνότητας του αγωγού, $\rho_a = 1/V$. Επιπλέον, η πτώση πίεσης λόγω τριβών που αναφέρεται στην εν λόγω πυκνότητα, δίνεται από την εξίσωση [4.9]:

$$p_{12} = \rho_a * F_{12} \quad [4.9]$$



Εικόνα 4.9 Μέτρηση της πτώσης πίεσης λόγω τριβών μεταξύ σταθμών 1 και 2 με τη μέθοδο "συρόμενου σωλήνα" (McPherson, 1993).

Εφαρμόζοντας την κατάσταση αυτή στην εξίσωση σταθερής ροής, προκύπτει:

$$P_{12} = \rho_a * F_{12} = \rho_a * (u_1^2 - u_2^2) / 2 + \rho_a * (Z_1 - Z_2) * g - (P_2 - P_1) \text{ (Pa)}$$

Παρ' όλα αυτά, ισχύει ότι η δυναμική πίεση $p_v = (\rho_a * v^2) / 2$ και η στατική πίεση $p_s = \rho_a * Z * g + P$ υπολογίζονται από τους αντίστοιχους όταν αναφέρονται στο σημείο αναφοράς υψομέτρου του μεταλλείου (McPherson, 1993).

Ως εκ τούτου, η εξίσωση (2) μπορεί να γραφτεί και ως:

$$\begin{aligned} p_{12} &= (p_{v1} + p_{s1}) - (p_{v2} + p_{s2}) \text{ (Pa)} \\ &= p_{t1} - p_{t2} \text{ (Pa)} \end{aligned}$$

όπου p_t = ολική πίεση ($p_v + p_s$) όπως μετριέται από τις κεφαλές των σωληνώσεων.

Αυτό δείχνει ότι η πτώση πίεσης λόγω τριβών, p_{12} , που αναφέρεται στη μέση τιμή της πυκνότητας του αγωγού μεταξύ των σωληνώσεων πίεσης, δίνεται ως ένδειξη της τιμής του μανομέτρου, Δp , όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Αν η μετρούμενη πτώση πίεσης λόγω τριβών αναφέρεται στην τυπική πυκνότητα του αέρα, ρ_{st} , προκειμένου να γίνει σύγκριση ή συσχέτιση με τιμές της πτώσης πίεσης λόγω τριβών σε άλλους αγωγούς, η διόρθωση γίνεται ως:

$$p_{12}(\text{τυποποιημένη}) = p_{12} * \rho_{st} / \rho_a$$

Γι' αυτό και η μέθοδος "συρόμενου σωλήνα" αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως άμεση μέθοδος μέτρησης πίεσης.

Μέθοδος με βαρόμετρο και αλτίμετρο: Εάν οι απόλυτες στατικές πιέσεις μετρώνται με βαρόμετρα στα άκρα ενός υπογείου αγωγού τότε η διαφορά των δύο αυτών μετρούμενων πιέσεων θα εξαρτάται από:

- την υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο σταθμών
- τις ταχύτητες του αέρα
- την πτώση πίεσης λόγω τριβών μεταξύ των δύο σταθμών σε συγκεκριμένη ροή αέρα

Δεδομένου ότι οι υψομετρικές διαφορές και οι ταχύτητες του αέρα μπορεί να μετρηθούν ανεξάρτητα, συνεπάγεται ότι η ένδειξη του βαρομέτρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της πτώσης πίεσης λόγω τριβών (McPherson, 1993).

Ξεκινώντας πάλι από την εξίσωση ενέργειας για σταθερή ροή μεταξύ των σταθμών 1 και 2, χωρίς την ύπαρξη ανεμιστήρα. Στη συνήθη περίπτωση της πολυτροπικής ροής, το παραγόμενο έργο λόγω τριβών δίνεται από την εξίσωση [4.10]:

$$F_{12} = (u_1^2 - u_2^2) / 2 + (Z_1 - Z_2) * g - R * (T_2 - T_1) * \frac{\ln(P_2/P_1)}{\ln(T_2/T_1)} \left(\frac{J}{kg} \right) \quad [4.10]$$

όπου

P = βαρομετρική πίεση (kPa)

T = απόλυτη θερμοκρασία (βαθμούς Kelvin)

Z = υψομετρική διαφορά βαρομέτρων (m)

u = ταχύτητα του αέρα στο βαρόμετρο (m/s)

και R = σταθερά των αερίων (J/kg K)

Καθώς όλες οι παράμετροι των παραπάνω εξισώσεων μπορούν να μετρηθούν, το έργο που παράγεται κατά την τριβή, F_{12} , μπορεί να υπολογισθεί. Αυτό με τη σειρά του μπορεί να μετατραπεί σε πτώση πίεσης λόγω τριβών, p_{12} , που αναφέρεται σε οποιαδήποτε δεδομένη πυκνότητα του αέρα, ρ_a .

$$p_{12} = \rho_a * F_{12} \text{ (Pa)}$$

Μια επιπλοκή προκύπτει αν οι βαρομετρικές πιέσεις από τους δύο σταθμούς δεν διαβάζονται ταυτόχρονα. Σε αυτή την περίπτωση η επιφανειακή ατμοσφαιρική πίεση μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε χρονικού διαστήματος που εμφανίζεται μεταξύ των μετρήσεων στους δύο σταθμούς.

Εάν παρατηρηθεί αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης στο σταθμό μέτρησης κατά, ΔP_c , κατά τη χρονική περίοδο μετάβασης από τον σταθμό 1 στο σταθμό 2, τότε η αρχική πίεση, P_1 , πρέπει να διορθωθεί (McPherson, 1993).

$$P_1 + \Delta P_c$$

4.7 Κύριος (πρωτεύων) αερισμός

4.7.1 Γενικά

Ο κύριος ή πρωτεύων αερισμός των μεταλλείων είναι δυνατόν να εξασφαλισθεί, είτε με φυσικό, είτε με μηχανικό, είναι δε πρόδηλο ότι στη δεύτερη περίπτωση προϋποτίθεται η χρησιμοποίηση ενός ή περισσότερων ανεμιστήρων.

Ο βοηθητικός ή δευτερεύων αερισμός αφορά στον εξαερισμό στοών ή τμημάτων του μεταλλείου τα οποία δεν διαρρέονται από το κύριο ρεύμα του αέρα και απαιτούν πρόσθετη πηγή πίεσης.

Ο φυσικός ελκυσμός αποτελεί σε πολλές περιπτώσεις σημαντικό στοιχείο του αερισμού των μεταλλείων, πλην όμως η αύξηση του βάθους των υπογείων εκμεταλλεύσεων, η πραγματοποίηση εξαιρετικά υψηλών παραγωγών και η επιτακτική ανάγκη βελτίωσης της παραγωγικότητας και της ασφάλειας έχουν καταστήσει το μηχανικό αερισμό απαραίτητο.

Σημειώνεται ότι ο φυσικός αερισμός μπορεί να συνυπάρχει με το μηχανικό αερισμό αλλά η αδυναμία πλήρους ελέγχου του πρώτου τον καθιστά σε πολλές περιπτώσεις προβληματικό, ιδιαίτερα στις εκμεταλλεύσεις των ανθρακωρυχείων.

Η εκτεταμένη χρησιμοποίηση ανεμιστήρων στα σύγχρονα μεταλλεία επιβάλλει όπως ο μηχανικός της εκμετάλλευσης γνωρίζει όχι μόνο τις δυνατότητες αλλά και τα βασικά στοιχεία κατασκευής του σημαντικού αυτού εξοπλισμού. Πέρα

απ' αυτό, πρέπει να εξετάζει λεπτομερώς τους παράγοντες που επηρεάζουν την εκλογή του τύπου και του μεγέθους του ανεμιστήρα, τη θέση που θα τοποθετηθεί, όπως επίσης και τους κανόνες της ασφαλούς και οικονομικής λειτουργίας του (Οικονομόπουλος, 1991).

Ανεξάρτητα από τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται ο αερισμός ενός μεταλλείου, τίθενται σε κάθε περίπτωση ορισμένα βασικά ερωτήματα, που διέπουν το ρεύμα του αέρα, ιδιαίτερα δε τη διεύθυνση ροής αυτού, κατά πόσο δηλαδή αυτό είναι φυσητικό ή μυζητικό.

Οι απαντήσεις στα ερωτήματα αυτά εξαρτώνται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από το είδος του μεταλλείου και τις συνθήκες που επικρατούν κατά την εκμετάλλευση αυτού.

4.7.2 Γενικές διατάξεις αερισμού- προσπελαστικά έργα

Ως γνωστό, σε κάθε μεταλλείο απαιτούνται τουλάχιστον δύο προσπελαστικά έργα (φρέατα, κεκλιμένα, στοές), με τα οποία εξασφαλίζεται η επικοινωνία με την επιφάνεια. Ένα (ή περισσότερα) από τα έργα (ανοίγματα) αυτά, π.χ. φρέαρ, χρησιμοποιείται για την είσοδο του αέρα, ενώ το άλλο (ή άλλα) χρησιμοποιείται για την επιστροφή του αέρα στην επιφάνεια, πρόκειται δηλαδή για το φρέαρ επιστροφής του αέρα.

Αν γίνει η υπόθεση ότι ένα μεταλλείο εξυπηρετείται από δύο και μόνο ανοίγματα, έστω φρέατα, η όρυξη των φρεάτων αυτών πλησίον αλλήλων, παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα, κυριότερα από τα οποία είναι η συγκέντρωση των εγκαταστάσεων σε περιορισμένη περιοχή και η δυνατότητα χρησιμοποίησης και των δύο φρεάτων για την ανέλκυση του μεταλλεύματος.

Παράλληλα όμως υφίστανται και σοβαρά μειονεκτήματα όπως π.χ. η δημιουργία βραχυκυκλωμάτων αέρα όταν η μεταξύ των φρεάτων απόσταση είναι μικρή, η αύξηση της διαδρομής του ρεύματος του αέρα, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης του μεταλλείου και η ελαττωμένη γενικά ασφάλεια, δεδομένου ότι και τα δύο φρέατα είναι συγχρόνως εκτεθειμένα σε διάφορους κινδύνους (εκρήξεις, πυρκαγιές κλπ).

Κατά γενικό κανόνα αυτή η διάταξη αερισμού πρέπει να εφαρμόζεται σε μεταλλεία μέτριας έκτασης. Σε διαφορετική περίπτωση, τα φρέατα απέχουν μεταξύ τους σημαντικά, οπότε δημιουργείται μεν η ανάγκη ύπαρξης επιφανειακών βοηθητικών εγκαταστάσεων σε δύο περιοχές, πλην όμως προκύπτει γενικά

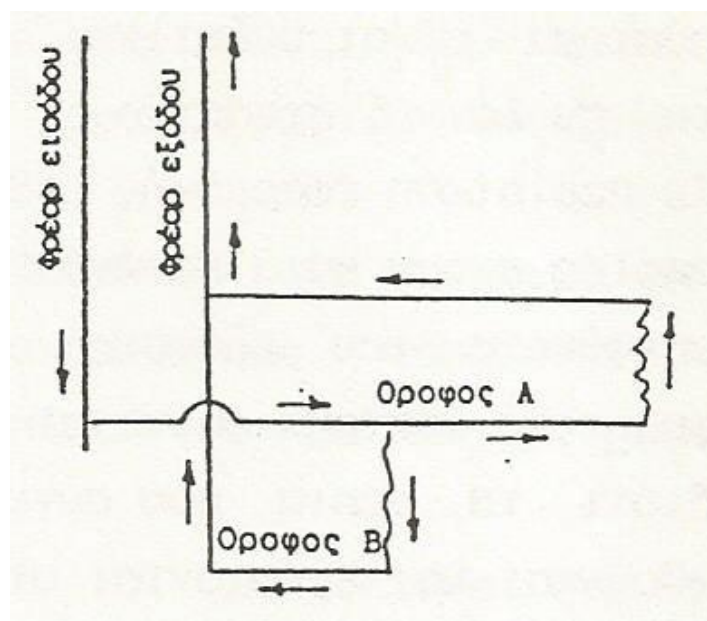
βραχύτερο υπόγειο δίκτυο και επομένως η αντίσταση του μεταλλείου μειώνεται (Οικονομόπουλος, 1991).

4.7.3 Ανερχόμενος και κατερχόμενος αερισμός

Κατά γενική αρχή, ο αερισμός, ιδιαίτερα των ανθρακωρυχείων, πρέπει να είναι ανερχόμενος, δηλαδή το ρεύμα του αέρα να ακολουθεί ανοδική πορεία προκειμένου να εξέλθει στην επιφάνεια.

Η διάταξη αυτή διευκολύνει άλλωστε τη φυσική τάση του αέρα, ο οποίος θερμαίνεται και αναμειγνυόμενος με τα διάφορα εκλυόμενα αέρια γίνεται ελαφρύτερος (Οικονομόπουλος, 1991).

Απεναντίας όμως, σε αρκετές περιπτώσεις το ρεύμα του αέρα μπορεί να είναι κατερχόμενο (εικόνα 4.10), η διάταξη αυτή παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα και αποτελεί καλή λύση εφ' όσον συνυπάρχουν και άλλοι ευνοϊκοί παράγοντες.



Εικόνα 4.10 Ανερχόμενος (όροφος Α) και κατερχόμενος (όροφος Β) αερισμός(Οικονομόπουλος,1991).

4.7.4 Φυσητικός και μυζητικός αερισμός-Διαγράμματα πιέσεων

Ο κύριος αερισμός του μεταλλείου μπορεί να είναι, είτε φυσητικός, είτε μυζητικός ανάλογα με τη θέση τοποθέτησης του χρησιμοποιούμενου κυρίου ανεμιστήρα.

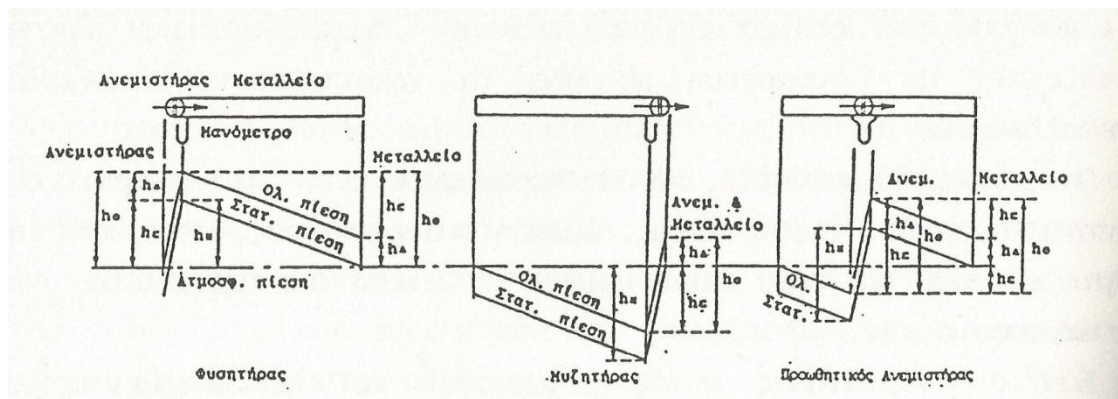
Στα μεταλλικά μεταλλεία, στα οποία δεν παρατηρείται έκλυση μεθανίου αερίζονται εξ ίσου ικανοποιητικά, τόσο με το φυσητικό όσο και με το μυζητικό σύστημα αερισμού και επομένως η σχετική επιλογή εξαρτάται από τα εν γένει χαρακτηριστικά του μεταλλείου και τις επικρατούσες συνθήκες.

Στο φυσητικό σύστημα η πηγή παροχής της πίεσης, δηλαδή ο ανεμιστήρας, τοποθετείται στο στόμιο εισόδου του αέρα και ανυψώνει την πίεση του μεταλλείου υπεράνω της ατμοσφαιρικής.

Εάν ο ανεμιστήρας αυτός μεταφερθεί και τοποθετηθεί στο στόμιο εξόδου του αέρα, χωρίς να μεταβληθεί η διεύθυνση ροής, το προκύπτον σύστημα είναι μυζητικό.

Τέλος, εάν ο ανεμιστήρας τοποθετηθεί εντός του δικτύου σε κάποια θέση μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του αέρα, ένα τμήμα του δικτύου θα βρεθεί υπό συνθήκες μυζητικού και το υπόλοιπο υπό συνθήκες φυσητικού συστήματος αερισμού. Σ' αυτή την περίπτωση ο ανεμιστήρας παραλαμβάνει αέρα υπό πίεση χαμηλότερη της ατμοσφαιρικής και τον καταθλίβει –τον προωθεί- υπό πίεση υψηλότερη της ατμοσφαιρικής, γι' αυτό και το τελευταίο αυτό σύστημα καλείται προωθητικό.

Στην εικόνα 4.11 που ακολουθεί δίνονται παραστατικά τα τρία ανωτέρω συστήματα με τα αντίστοιχα διαγράμματα των πιέσεων από τα οποία προκύπτουν οι τιμές της ολικής και της στατικής πίεσης και φυσικά και της δυναμικής πίεσης εκ της διαφοράς $h_d = h_o - h_s$, σε κάθε σημείο του αγωγού και γενικότερα του δικτύου (Οικονομόπουλος, 1991).



Εικόνα 4.11 Διαγράμματα πιέσεων για το φυσητικό, μυζητικό και προωθητικό σύστημα αερισμού(Οικονομόπουλος, 1991).

4.8 Φυσικός αερισμός

4.8.1 Γενικά

Όπως προαναφέρθηκε, δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί ροή αέρα μέσα στο υπόγειο μεταλλευτικό δίκτυο εάν δεν εξασφαλισθεί η χορήγηση ενέργειας στο σύστημα –υπό μορφή πίεσης- για την υπερνίκηση των απωλειών.

Οι απαιτούμενες για την πρόκληση ροής διαφορές πίεσης είναι δυνατόν να δημιουργηθούν, είτε από φυσική, είτε από μηχανική δύναμη. Η περισσότερο συνηθισμένη φυσική δύναμη οφείλεται στις παρατηρούμενες διαφορές θερμοκρασίας και συνεπώς στις διαφορές πυκνότητας μεταξύ στηλών αέρα, μέσα στο μεταλλείο ή σε χώρο συνεχόμενο προς αυτό.

Ουσιαστικά, η θερμική ενέργεια που κατά διαφόρους τρόπους προστίθεται στο σύστημα μετατρέπεται σε πίεση, που είναι ικανή να προκαλέσει ροή. Η ροή αυτή ενδέχεται να εξασφαλίζει επαρκή και αποτελεσματικό αερισμό στο μεταλλείο, χωρίς την ανάγκη προσφυγής σε μηχανικά μέσα. Σ' αυτή την περίπτωση ο αερισμός του μεταλλείου καλείται φυσικός και η πίεση που αντιστοιχεί σ' αυτόν καλείται πίεση φυσικού αερισμού (ή ελκυσμού).

Πολλά μικρά μεταλλικά μεταλλεία, όπως επίσης και σημαντικός αριθμός, εκτεταμένων μεταλλικών μεταλλείων, αερίζονται ικανοποιητικά με τη βοήθεια του φυσικού αερισμού. Αλλά και στα μηχανικώς αεριζόμενα μεταλλεία οι πιέσεις φυσικού ελκυσμού είναι μεγάλης σημασίας, ανάλογα με το βάθος και την αύξηση της θερμοκρασίας των πετρωμάτων που παρατηρείται σε συνάρτηση με αυτό.

Σε περίπτωση συνύπαρξης μηχανικού και φυσικού αερισμού η πίεση του τελευταίου παίζει σημαντικό ρόλο, αφού είναι δυνατόν να δρα σε όφελος ή σε βάρος της μηχανικής πίεσης. Άρα, η γνώση των συνθηκών υπό τις οποίες προκαλείται φυσικός ελκυσμός σε δεδομένο μεταλλείο όπως επίσης και τα γενικά χαρακτηριστικά του μεγέθους αποκτούν ιδιαίτερη σημασία και πρέπει να εξετάζονται με προσοχή, προτού ληφθεί οριστική απόφαση αναφορικά με την όλη δομή του αερισμού στο υπόγειο μεταλλευτικό δίκτυο (Οικονομόπουλος, 1991).

4.8.2 Πηγές φυσικού αερισμού

Η θερμοκρασία του αέρα που ρέει στο υπόγειο δίκτυο μεταβάλλεται αρκετά γρήγορα, σε συνάρτηση με το χρόνο επαφής του μετά των πετρωμάτων ή μεταλλεύματος. Συνεπώς, η επιρροή της επιφανειακής θερμοκρασίας εξαρτάται από την ταχύτητα του ρεύματος του αέρα, η οποία και καθορίζει το χρόνο επαφής.

Σε χαμηλές ταχύτητες εισόδου, μεταβολές θερμοκρασίας του επιφανειακού αέρα δεν μπορεί να γίνουν αντιληπτές και σε μικρά ακόμα βάθη ενώ, αντίθετα, με υψηλές ταχύτητες εισόδου, που είναι άλλωστε συνηθισμένες στα μηχανικώς αεριζόμενα μεταλλεία, οι επιφανειακές μεταβολές θερμοκρασίας γίνονται αισθητές και σε μεγάλα σχετικά βάθη.

Όπως είναι γνωστό, η θερμοκρασία των πετρωμάτων αυξάνεται με το βάθος και η θερμοκρασία του αέρα του μεταλλείου (η οποία επηρεάζεται από τη θερμοκρασία των πετρωμάτων) είναι κατά μέσο όρο μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του επιφανειακού αέρα. Επομένως, οι προκαλούμενες πιέσεις φυσικού ελκυσμού είναι μεγαλύτερες στη χρονική περίοδο κατά την οποία η θερμοκρασία επιφάνειας είναι μικρότερη του μέσου ετήσιου όρου. Αυτό σημαίνει ότι τα φυσικώς αεριζόμενα μεταλλεία έχουν γενικά καλύτερο αερισμό κατά την περίοδο του χειμώνα.

Το εύρος των τιμών της πίεσης φυσικού ελκυσμού κυμαίνεται από 0.5 in στήλης νερού (124 Pa) και σπάνια υπερβαίνει τις 3 in στήλης νερού (746 Pa), ενώ η παροχή μπορεί να λαμβάνει τιμές μεταξύ μερικών δεκάδων χιλιάδων cfm έως 100000 cfm (47.2 m³/s) (Hartman, 1982).

4.8.3 Προβλήματα προς επίλυση

Η κύρια δυσχέρεια που αντιμετωπίζεται στα φυσικώς αεριζόμενα μεταλλεία αφορά στη σχετική αδυναμία ελέγχου της διεύθυνσης της ροής, ιδιαίτερα εάν σημειωθεί πυρκαγιά, η οποία μπορεί να αντιστρέψει το ρεύμα αέρα σε μικρό χρονικό διάστημα. Ακόμα και σε μηχανικώς αεριζόμενα μεταλλεία εκδήλωση πυρκαγιάς σε φρέαρ μπορεί να δημιουργήσει ισχυρότατο φυσικό ελκυσμό, με αποτέλεσμα την αντιστροφή του ρεύματος του αέρα, παρά τη λειτουργία ενός ή περισσοτέρων ανεμιστήρων.

Το φαινόμενο αυτό είναι εξαιρετικά επικίνδυνο και δεν πρέπει να διαφεύγει της προσοχής των υπευθύνων του μεταλλείου σε καμία περίπτωση. Αλλά και γενικότερα, η αντιστροφή προκαλεί πέρα από τη διαταραχή του όλου συστήματος του αερισμού.

Διάφοροι τρόποι εφαρμόσθηκαν για την αύξηση του ρεύματος του φυσικού ελκυσμού. Οι κυριότεροι από αυτούς αφορούν στην αύξηση του μήκους της στήλης, που επιτυγχάνεται με την προσθήκη “καπνοδόχης” στο φρέαρ επιστροφής του αέρα, ή και στην εγκατάσταση στοιχειώδους καμίνου κοντά στον πυθμένα του φρέατος επιστροφής, πρακτική η οποία απαγορεύεται όχι μόνο στα ανθρακωρυχεία αλλά και στα μεταλλικά μεταλλεία, επειδή εγκλείει πολλούς και προφανείς κινδύνους (Οικονομόπουλος, 1991).

Κατά γενικό κανόνα πρέπει να μειώνεται στο ελάχιστο δυνατό η προσθήκη θερμότητας και η εξάτμιση στο φρέαρ εισόδου του αέρα, ενώ, αντίθετα να επιδιώκονται στο υπόλοιπο μεταλλείο και ιδιαίτερα στο φρέαρ επιστροφής του

αέρα. Από της πλευράς αυτής αποκτά σχετική σημασία η θέση τοποθέτησης των σωληνώσεων του πεπιεσμένου αέρα και της άντλησης των υπογείων υδάτων.

Συμπερασματικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν το φυσικό αερισμό και επομένως και την ενέργεια που απολαμβάνεται απ' αυτόν, είναι:

- Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν υπεράνω κάθε φρέατος (και γενικότερα κάθε προσπελαστικού έργου).
- Τα βάθη των φρεάτων και τα σχετικά υψόμετρα των στομιών τους.
- Η κατάσταση του αέρα κατά την είσοδό του στο φρέαρ.
- Οι ανταλλαγές θερμότητας και η εξάτμιση στα φρέατα και το υπόλοιπο μεταλλείο.
- Το υψόμετρο των μεταλλευτικών εργασιών

Εάν ο συνδυασμός των παραγόντων αυτών είναι ευνοϊκός παράγεται πολύ σημαντική ισχύς, αντίστοιχη με ανάλογο ανεμιστήρα, που μπορεί να δρα σε όφελος ή σε βάρος του μηχανικού αερισμού (Οικονομόπουλος, 1991).

4.9 Μηχανικός αερισμός

4.9.1 Ιστορική εξέλιξη

Ο αερισμός των υπογείων μεταλλευτικών εργασιών άρχισε, χωρίς αμφιβολία, να απασχολεί τον άνθρωπο αμέσως μετά τις πρώτες προσπάθειες που κατέβαλε προκειμένου να επεκτείνει σε βάθος και έκταση την εξόρυξη των χρήσιμων για τις ανάγκες του ορυκτών υλών. Οι δυνάμεις του φυσικού ελκυσμού ασφαλώς δεν διέφευγαν της προσοχής του, πλην όμως η αδυναμία του να επιτύχει αποτελεσματικό αερισμό στα μέτωπα εξόρυξης περιόριζε, όπως ήταν επόμενο, τη δραστηριότητα του αλλά συγχρόνως τον ανάγκαζε να επινοεί διάφορους τρόπους και διάφορες διατάξεις για ν' αντιμετωπίζει το σοβαρό αυτό πρόβλημα.

Στους χρόνους ακμής της Αρχαίας Ελλάδας και κυρίως κατά τους 4^ο και 5^ο π.Χ. αιώνες οπότε αναπτύχθηκαν μεγάλες για την εποχή μεταλλευτικές και μεταλλουργικές δραστηριότητες (Λαύριο, Παγγαίο, Φίλιπποι, Θράκη κλπ) ο ρόλος του φυσικού ελκυσμού φαίνεται ότι είχε γίνει απόλυτα κατανοητός, γεγονός που αποδεικνύεται και από την όρυξη πολλών φρεάτων σε κατάλληλες θέσεις, με αποκλειστικό σκοπό την εξασφάλιση του απαραίτητου ρεύματος αέρα. Σε πολλές περιπτώσεις τα φρέατα ορύσσονταν κατά ζεύγη και επικοινωνούσαν μεταξύ τους με εγκάρσιες στοές για λόγους αερισμού, προς υποβοήθηση δε του ελκυσμού ανάβονταν φωτιές στον πυθμένα ενός εκ των φρεάτων ή ακόμη κατασκευάζονταν καπνοδόχες στα στόμια των φρεάτων.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η όρυξη των φρεάτων κατά ζεύγη εξυπηρετούσε πιθανώς και άλλους σκοπούς, κυρίως δε την ανέλκυση των εξορυσσόμενων προϊόντων με τη βοήθεια κατάλληλων διατάξεων.

Κατά τους χρόνους της Ρωμαϊκής κυριαρχίας δεν φαίνεται ότι σημειώθηκε ιδιαίτερη πρόοδος, ενώ μετέπειτα μακρά περίοδο ακμής της Βυζαντινής αυτοκρατορίας η εκμετάλλευση των πολυάριθμων μεταλλείων παραμελήθηκε, γεγονός που ασφαλώς συνέλαβε στην τραγική πτώση του Βυζαντίου.

Ανεξάρτητα όμως από αυτό, ήδη από τους τελευταίους αιώνες του Μεσαίωνα και τη μετέπειτα εποχή της Αναγέννησης είχαν αρχίσει να επινοούνται διάφορες, ξύλινες βεβαίως, “μηχανές” αερισμού που περιγράφονται κατά θαυμαστό πραγματικά τρόπο από τον Agricola στο κλασικό πλέον σύγγραμμα *De re metallica* (1556 μ.Χ.).

Οι μηχανές αυτές βασίζονταν κυρίως, είτε στις δυνάμεις του ανέμου και λειτουργούσαν όπως περίπου οι ανεμόμυλοι, είτε στις δυνάμεις των εργαζομένων καθώς οι ίδιοι μετέφεραν ενέργεια στις μηχανές αερισμού.

Χρησιμοποιήθηκαν επίσης ξύλινοι τροχοί με πτερύγια, κατάλληλα εγκιβωτισμένοι, που απετέλεσαν ουσιαστικά την πρώτη μορφή του φυγοκέντρου ανεμιστήρα. Τα πρωτόγονα αυτά μηχανήματα περιστρέφονταν είτε από τους ίδιους τους εργαζόμενους, είτε με τη βοήθεια ζώων ή μικρών υδατοπτώσεων.

Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στην εικόνα 4.12 σε μία εκτύπωση από το σύγγραμμα του Agricola:



Εικόνα 4.12 Εκτύπωση από το σύγγραμμα του Agricola "De re metallica" (McPherson, 1993).

Είναι φανερό, ότι η ανυπαρξία σταθερής και ισχυρής κινητήριας δύναμης αποτελούσε κατασταλτικό παράγοντα κάθε σχετικής προσπάθειας, γι' αυτό άλλωστε και μέχρι το τέλος του 18^{ου} αιώνα, οπότε ουσιαστικά άρχισε η βιομηχανική επανάσταση, δεν σημειώθηκε σημαντική βελτίωση των συνθηκών αερισμού των υπογείων εκμεταλλεύσεων, παρά την επινοήση και εφαρμογή ευφυών πράγματι συναφών μηχανισμών και διατάξεων.

Όμως, από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα πραγματοποιείται μια ραγδαία, για την εποχή βέβαια, εκμηχάνιση της βιομηχανίας και με τη σύγχρονη εκμετάλλευση της δύναμης του ατμού δίνεται μια τεράστια ώθηση προς την κατεύθυνση της αντιμετώπισης των μεταλλευτικών προβλημάτων γενικότερα και του αερισμού ειδικότερα. Έτσι, από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα άρχισαν να χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη μηχανικά μέσα αερισμού που αποτελούνταν από ανεμιστήρες που κινούνταν με ατμομηχανές. Πάντως, φαίνεται ότι το πρώτο επιτυχημένο μηχανικό σύστημα αερισμού λειτούργησε σε Αγγλικό ανθρακωρυχείο κατά το έτος 1807.

Από τότε η πρόοδος υπήρξε ταχύτατη. Ο Guibal κατά το 1858 κατασκεύασε τους πρώτους κεντρόφυγες ανεμιστήρες με ελικοειδές κέλυφος οι οποίοι εξελίχθηκαν μεταγενέστερα από τον Rateau, περί τα τέλη του προηγούμενου αιώνα (Οικονομόπουλος, 1991).

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα σημειώθηκε, μία σημαντική εξέλιξη στην κατασκευή ελικοφόρων αεροπλάνων που συντέλεσε επίσης στην επινόηση νέων τύπων ανεμιστήρων και τη βελτίωση τους από πλευράς παροχών, πιέσεων και αποδόσεων.

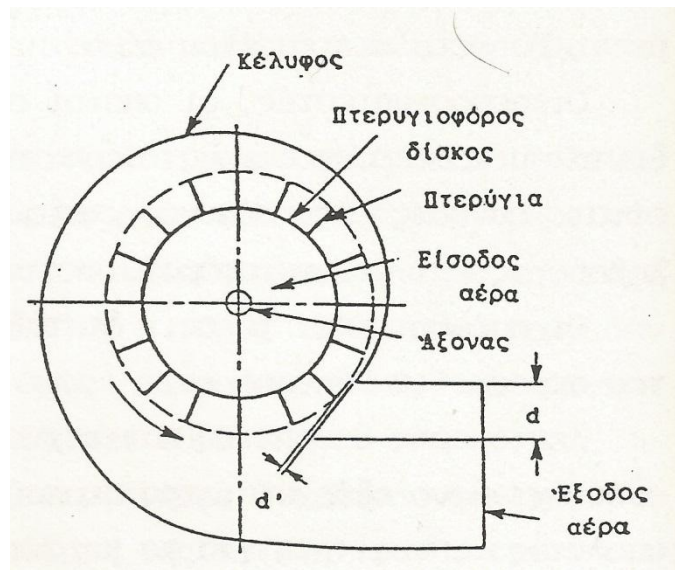
4.9.2 Ανεμιστήρες

Ο μηχανικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την εξασφάλιση του αερισμού των μεταλλείων αποτελείται κυρίως από ανεμιστήρες, οι οποίοι διαίρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: Τους κεντρόφυγες (ακτινικής ροής) ανεμιστήρες και τους ελικοφόρους (αξονικής ροής) ανεμιστήρες.

Οι ανεμιστήρες λειτουργούν ουσιαστικά ως αεραντλίες. Δημιουργούν διαφορά πίεσης εντός των αγωγών και προκαλούν τη ροή του αέρα, μετατρέποντας τη μηχανική ενέργεια σε ενέργεια ροής. Κατ' αυτό τον τρόπο παρέχουν την απαραίτητη πίεση για την υπερνίκηση των απωλειών πίεσης, που επισυμβαίνουν κατά τη ροή του αέρα στους αγωγούς.

4.9.2.1 Κεντρόφυγες ανεμιστήρες

Στους κεντρόφυγες (ή φυγοκεντρικούς) ανεμιστήρες ο αέρας αναρροφείται μέσω της φυγοκέντρισης εντός του δίσκου (τροχού) με πτερύγια. Στη συνέχεια εισέρχεται σε κέλυφος σχήματος κοχλία (σαλιγκάρι), η διατομή του οποίου αυξάνει προοδευτικά μέχρι το στόμιο κατάθλιψης (εξόδου) του αέρα (εικόνα 4.13).



Εικόνα 4.13 Κεντρόφυγας ανεμιστήρας (Οικονομόπουλος, 1991)

Η παραγωγή πίεσης σ' ένα κεντρόφυγα ανεμιστήρα οφείλεται σε δύο διαφορετικές και ανεξάρτητες δράσεις: Στην κεντρόφυγα δύναμη, λόγω της περιστροφής του αέρα και στην κινητική ενέργεια που παρέχεται καθώς ο αέρας εγκαταλείπει το άκρο της κορυφής των πτερυγίων (λεπίδων) του πτερυγιοφόρου δίσκου.

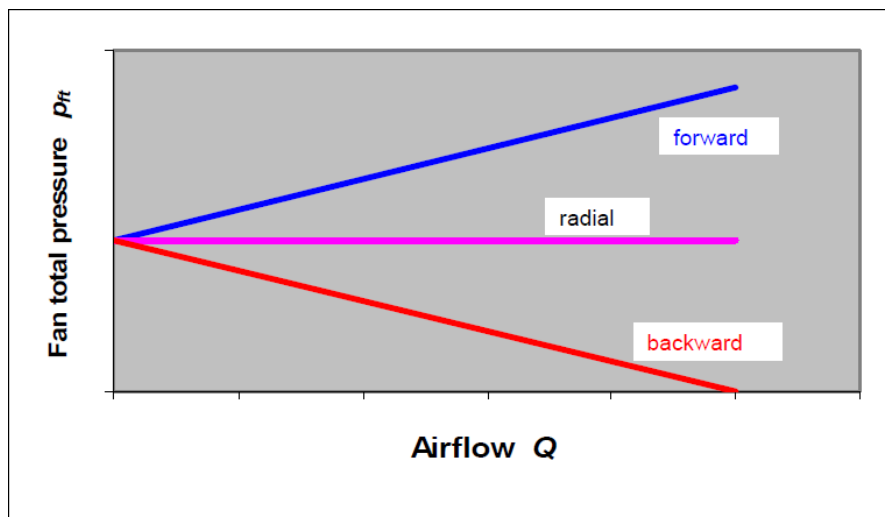
Το ποσό της αναπτυσσόμενης κινητικής ενέργειας εξαρτάται κυρίως από την εφαπτομενική ταχύτητα των πτερυγίων, ενώ η κεντρόφυγος (στατική) ενέργεια είναι συνάρτηση της εφαπτομενικής ταχύτητας του αέρα που εισέρχεται και εγκαταλείπει το δίσκο.

Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και η απόδοση ενός κεντρόφυγα ανεμιστήρα εξαρτώνται ουσιαστικά από το μέγεθος της παραγόμενης κινητικής και στατικής ενέργειας, ως επίσης και από τη μεταξύ τους ποσοτική σχέση, παράγοντες που επηρεάζονται από την εν γένει σχεδίαση του μηχανήματος.

Η καμπυλότητα των πτερυγίων αποτελεί σημαντικό στοιχείο σχεδιασμού του ανεμιστήρα. Τα πτερύγια μπορεί να έχουν διαταχθεί ακτινικά, δηλαδή να αποτελούν προέκταση της ακτίνας που αντιστοιχεί στη θέση τοποθέτησης τους, αλλά επίσης μπορεί να κλίνουν προς τα εμπρός ή προς τα πίσω σε σχέση με τη διεύθυνση κίνησης του δίσκου.

Η κλίση των πτερυγίων ποικίλλει από ένα μέγιστο 60° για τα κατά τη διεύθυνση της κίνησης κλίνοντα πτερύγια και 45° για τα αντιθέτως προς τη διεύθυνση κίνησης κλίνοντα πτερύγια (Οικονομόπουλος, 1991).

Στην εικόνα 4.14 παρουσιάζεται ένα τυπικό διάγραμμα ολικής πίεσης-παροχής για διάφορες διατάξεις πτερυγίων. Εύκολα προκύπτει ότι, για διάταξη χωρίς κλίση η πίεση παραμένει σταθερή για όλες τις παροχές, για διάταξη με πίσω κλίση η πίεση μειώνεται καθώς η παροχή αυξάνεται και για διάταξη με κλίση πτερυγίων προς τα εμπρός παρατηρείται γραμμική αύξηση της ολικής πίεσης με ταυτόχρονη αύξηση της παροχής του ανεμιστήρα.



Εικόνα 4.14 Τυπικό διάγραμμα ολικής πίεσης-παροχής για κεντρόφυγες ανεμιστήρες ανάλογα με την κλίση των πτερυγίων (McPherson, 1993).

Αύξηση του αριθμού των πτερυγίων προκαλεί αύξηση, τόσο της πίεσης όσο και της ποσότητας του παρεχόμενου από τον ανεμιστήρα αέρα.

Εν τούτοις εάν τοποθετηθούν πτερύγια σε μεγάλο αριθμό θα αυξηθούν σημαντικά οι απώλειες πίεσης λόγω τριβών και θα μειωθεί δραστικά ο απαιτούμενος για τη ροή του αέρα χώρος. Γι' αυτούς τους λόγους ακολουθείται μέση λύση, έτσι ώστε ο αριθμός των πτερυγίων να κυμαίνεται μεταξύ 10 και 20 για τους ανεμιστήρες με ακτινικώς διατεταγμένα πτερύγια, 14 έως 24 για τους ανεμιστήρες με πτερύγια κλίνοντα αντιθέτως προς τη διεύθυνση κίνησης και 32 έως 66 για τους ανεμιστήρες με πτερύγια κλίνοντα κατά τη διεύθυνση κίνησης του δίσκου.

Τα κύρια γεωμετρικά στοιχεία των πτερυγίων αναφέρονται στο ακτινικό βάθος και το αξονικό μήκος τους. Το ακτινικό βάθος, που μετρείται κατά την ακτίνα του δίσκου, αντιστοιχεί ουσιαστικά στο ύψος του πτερυγίου και κυμαίνεται μεταξύ 5% και 35% της διαμέτρου του δίσκου, ενώ το αξονικό μήκος, μετρούμενο κατά τη διεύθυνση του άξονα περιστροφής του δίσκου καθορίζεται συνήθως κατόπιν δοκιμών και κυμαίνεται περί το 25% της διαμέτρου του στομίου εισόδου του αέρα στο δίσκο. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το αξονικό μήκος του πτερυγίου καθορίζει

ουσιαστικά το πλάτος, επομένως και την παροχή, του ανεμιστήρα και συνεπώς αποτελεί σημαντικής σημασίας μέγεθος (Οικονομόπουλος, 1991).

Προς αύξηση της παροχής κατασκευάζονται ανεμιστήρες “διπλού” πλάτους οι οποίοι αποτελούνται από δύο πτερυγιοφόρους δίσκους προσαρμοσμένους σταθερά στον ίδιο άξονα. Κατ’ αυτή τη διάταξη το αποτέλεσμα της λειτουργίας του ανεμιστήρα εξομοιώνεται με το αποτέλεσμα της λειτουργίας δύο ανεμιστήρων σε παράλληλη διάταξη και επομένως η παροχή είναι περίπου διπλάσια σε σύγκριση με την παροχή ανεμιστήρα “απλού” πλάτους, δηλαδή με ένα πτερυγιοφόρο δίσκο.

Το μέγεθος, η μορφή και το πλήθος των ανοιγμάτων εισόδου του αέρα στον ανεμιστήρα ποικίλλει εντός ορισμένων ορίων. Ειδικότερα, όσον αφορά το μέγεθος, υφίσταται ένα βέλτιστο άνοιγμα με το οποίο ελαχιστοποιούνται οι απώλειες ενέργειας κατά την είσοδο και κρούση του αέρα στα πτερύγια του δίσκου.

Το άνοιγμα αυτό μπορεί να είναι κυλινδρικό ή κωνικό ή να έχει μορφή “καμπάνας” που είναι και προτιμότερη από πλευράς μείωσης των απωλειών κατά την είσοδο του αέρα.

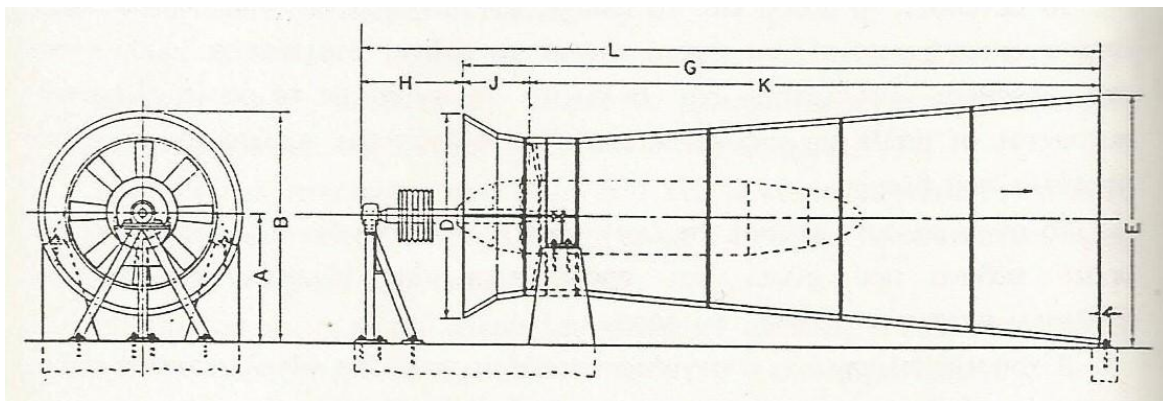
Η χρησιμοποίηση δύο ανοιγμάτων είναι ασφαλώς πλεονεκτική, δεδομένου ότι η ταχύτητα υποδιπλασιάζεται και επομένως οι απώλειες υποτετραπλασιάζονται. Εν τούτοις και πέραν ορισμένων τεχνικών δυσχερειών που αντιμετωπίζονται κατά την κατασκευή παρόμοιων ανεμιστήρων, η χρησιμοποίησή τους στην πράξη δεν είναι πάντοτε δυνατή.

Η θέση του δίσκου σε σχέση με το κέλυφος καθορίζει το ελεύθερο άνοιγμα d' , καθώς επίσης και το μέγεθος του ανοίγματος d , που αντιστοιχεί στο εκτεθειμένο προς την πλευρά της κατάθλιψης του αέρα τμήμα του δίσκου (Οικονομόπουλος, 1991).

Τα δύο αυτά στοιχεία καθορίζονται συνήθως ως ποσοστό επί της διαμέτρου του δίσκου και κυμαίνονται από σχεδόν 0 έως 15% το πρώτο και περίπου 50% το δεύτερο.

4.9.2.2 Ανεμιστήρες αξονικής ροής (ελικοφόροι ανεμιστήρες)

Οι ελικοφόροι ανεμιστήρες (εικόνα 4.15) περιλαμβάνουν, εντός κυλινδρικού ή ελαφρώς κωνικού κελύφους-αγωγού, έλικα αποτελούμενο από ορισμένο αριθμό πτερυγίων (λεπίδων) τα οποία είναι κατάλληλα στερεωμένα σε πλήμνη, ώστε να μπορούν να ρυθμίζονται.



Εικόνα 4.15 Ελικοφόρος ανεμιστήρας(Οικονομόπουλος, 1991).

Η κύρια δράση προς παραγωγή πίεσης σ' ένα ανεμιστήρα αξονικής ροής έγκειται στο να προσδώσει εφαπτομενική επιτάχυνση στον αέρα κατά τη δίοδο αυτού μέσω της έλικας.

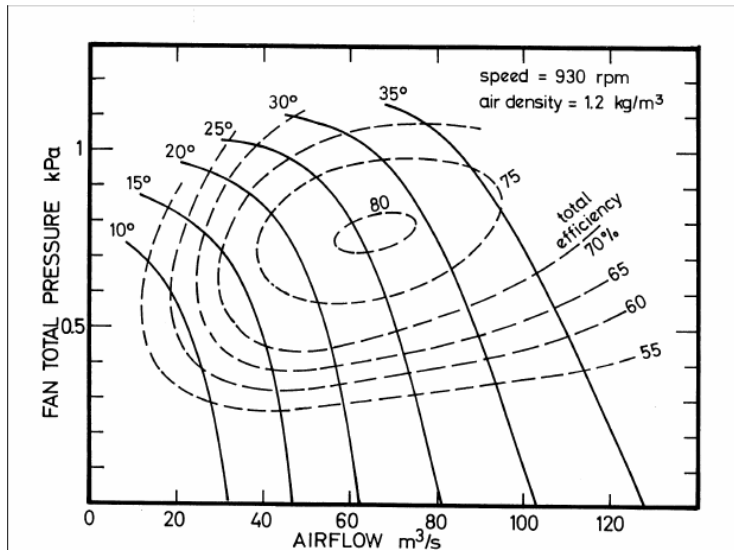
Η ενέργεια που δημιουργείται κατά την περιστροφή πρέπει να μετατραπεί σε ενέργεια γραμμικής ροής και στατική πίεση καθώς ο αέρας εγκαταλείπει την έλικα. Τούτο είναι αρκετά δύσκολο να επιτευχθεί κατά τέλειο τρόπο, πλην όμως είναι ουσιαστικό για την καλή απόδοση του ανεμιστήρα (Οικονομόπουλος, 1991).

Η χρησιμοποίηση διευθυντικών πτερυγίων, που τοποθετούνται μέσα στο κέλυφος, αμέσως μετά τον πτερυγιοφόρο δίσκο (δηλαδή την έλικα) βοηθά αποτελεσματικά προς την κατεύθυνση αυτή. Γι' αυτό, οι περισσότεροι μεγάλοι μεγέθους, αξονικής ροής, ανεμιστήρες που χρησιμοποιούνται στα μεταλλεία είναι αυτού του τύπου.

Για αποτελεσματικότερη αεροδυναμική ροή πολλοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν λεπτά μεταλλικά πτερύγια για να μειώσουν τις τριβές.

Οι ανεμιστήρες αυτοί διαθέτουν ρυθμιζόμενης γωνίας κλίσης πτερύγια που αποσκοπούν στην αποδοτικότερη λειτουργία για διάφορες παροχές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αύξηση της γωνίας κλίσης (προσβολής) συνεπάγεται αύξηση δύναμης η οποία προκαλεί την ώθηση του αέρα στον ανεμιστήρα, μέχρι μιας κρίσιμης γωνίας, πέραν της οποίας η λειτουργία του ανεμιστήρα καθίσταται ασταθής.

Στην εικόνα 4.16, απεικονίζεται διάγραμμα ενός συνόλου από χαρακτηριστικές καμπύλες για αξονικό ανεμιστήρα με πτερύγια μεταβλητής γωνίας. Η ευελιξία αυτών των ανεμιστήρων, τους δίνει σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τους κεντρόφυγες ανεμιστήρες.

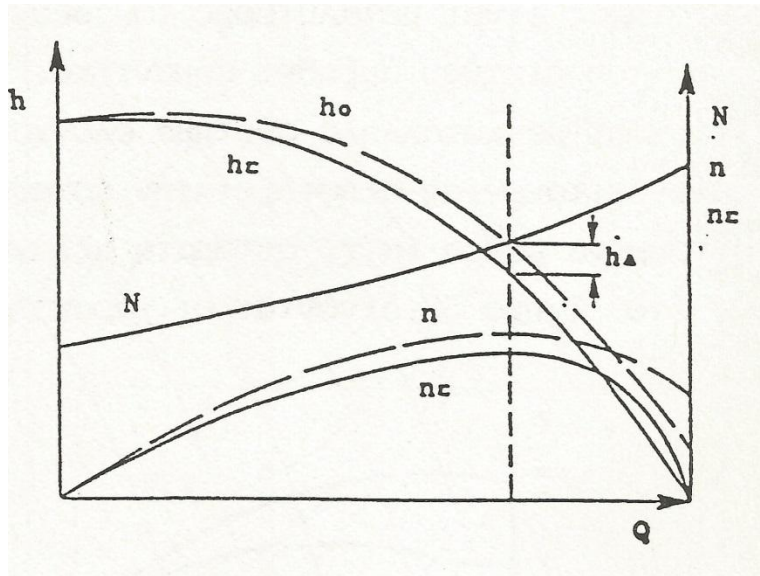


Εικόνα 4.16 Παράδειγμα ενός συνόλου από χαρακτηριστικές καμπύλες για ένα αξονικό ανεμιστήρα με πτερύγια μεταβλητής γωνίας (McPherson, 1993).

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε κάθε συγκεκριμένο ανεμιστήρα που στρέφεται με δεδομένη ταχύτητα και λειτουργεί σε αέρα κανονικής πυκνότητας, αντιστοιχούν χαρακτηριστικές καμπύλες οι οποίες συνδέουν τις κύριες μεταβλητές παραμέτρους και συγκεκριμένα την πίεση, την παροχή, την ισχύ και την απόδοση.

Οι καμπύλες των διαφόρων μεταβλητών χαράσσονται σε σχέση με την παροχή και φυσικά η χαρακτηριστική καμπύλη πιέσεων-παροχών αποτελεί την πιο σημαντική καμπύλη του ανεμιστήρα. Η χάραξη της καμπύλης αυτής δεν είναι γενικά εύκολη, δεδομένου ότι μεταβλητό μέρος της παραγόμενης πίεσης δαπανάται ως απώλεια κατά τη δίοδο του αέρα δια του ανεμιστήρα, γεγονός που απαιτεί την εκτέλεση ειδικών μετρήσεων και δοκιμών.

Στην εικόνα 4.17, δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες ενός ανεμιστήρα με αναφορά, τόσο στη στατική όσο και την ολική πίεση. Η διακεκομμένη γραμμή δίνει τις τιμές των μεγεθών Q , h_z και N που αντιστοιχούν στη μέγιστη απόδοση του ανεμιστήρα η .



Εικόνα 4.17 Χαρακτηριστικές καμπύλες ανεμιστήρα (Οικονομόπουλος, 1991).

4.9.3 Νόμοι λειτουργίας ανεμιστήρων

Στην πρακτική εφαρμογή ή τον σχεδιασμό των ανεμιστήρων, από το πλήθος των ανεξάρτητων μεταβλητών που χαρακτηρίζουν τους ανεμιστήρες (ταχύτητα, πυκνότητα αέρα, διάμετρος δίσκου) επιλέγεται μια μόνο από αυτές, ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν σταθερές. Έτσι προκύπτει μια σύνοψη των νόμων λειτουργίας των ανεμιστήρων όπως φαίνεται πίνακα 4.4:

Πίνακας 4.4 Συνοπτικός πίνακας των νόμων που διέπουν τη λειτουργία των ανεμιστήρων (McPherson, 1993).

Μεταβλητή ταχύτητα (n)	Μεταβλητή διάμετρος (d)	Μεταβλητή πυκνότητα αέρα (ρ)
$\rho \propto n^2$	$\rho \propto d^2$	$\rho \propto \rho$
$Q \propto n$	$Q \propto d^3$	Q σταθερό
$P_{ow} \propto n^3$	$P_{ow} \propto d^6$	$P_{ow} \propto \rho$

Αυτοί οι νόμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση της απόδοσης ενός ανεμιστήρα με μεταβολή της ταχύτητας ή της πυκνότητας του αέρα, ή για τη σύγκριση της απόδοσης διαφορετικού μεγέθους ανεμιστήρων, με την προϋπόθεση ότι είναι παρόμοιοι γεωμετρικά.

Αν οι δύο διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας ή οι δύο γεωμετρικά διαφορετικοί ανεμιστήρες που χαρακτηρίζονται από τους δείκτες a και b, τότε οι νόμοι λειτουργίας μπορούν να εφαρμοσθούν, πιο γενικά, σύμφωνα με τις εξισώσεις [4.11], [4.12], [4.13]:

$$\frac{p_{ft,a}}{p_{ft,b}} = \frac{n_a^2}{n_b^2} * \frac{d_a^2}{d_b^2} * \frac{\rho_a}{\rho_b} \quad [4.11]$$

$$\frac{Q_a}{Q_b} = \frac{n_a}{n_b} * \frac{d_a^3}{d_b^3} \quad [4.12]$$

$$\frac{P_{ow,a}}{P_{ow,b}} = \frac{n_a^3}{n_b^3} * \frac{d_a^3}{d_b^3} * \frac{\rho_a}{\rho_b} \quad [4.13]$$

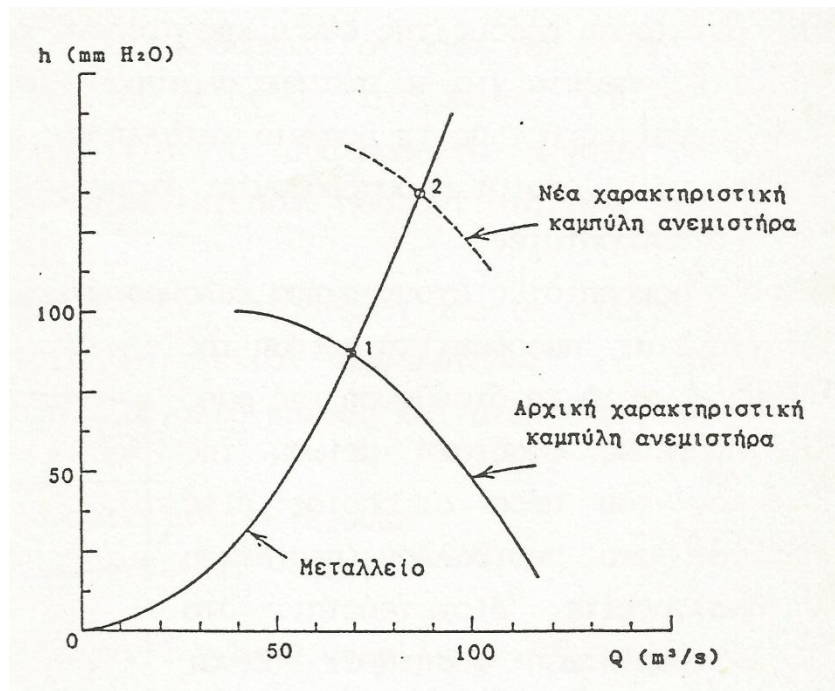
όπου p_{ft} = πίεση ανεμιστήρα (ισχύει τόσο για την ολική όσο και για την στατική)
 Q = παροχή
 P_{ow} = ισχύς αέρα (kW)
 n = ταχύτητα περιστροφής
 d = διάμετρος δίσκου
και ρ = πυκνότητα αέρα

4.10 Αερισμός των μεταλλείων με ανεμιστήρες

4.10.1 Σημείο λειτουργίας ανεμιστήρα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ένα σύστημα αερισμού αποτελείται από έναν ή περισσότερους ανεμιστήρες κατάλληλα συνδεδεμένους με ένα δίκτυο αγωγών.

Κάθε ανεμιστήρας που στρέφεται με δεδομένη σταθερή ταχύτητα μπορεί να λειτουργήσει με άπειρους αλλά καθορισμένους συνδυασμούς πιέσεων-παροχών (όπως προκύπτει από την αντίστοιχη καμπύλη λειτουργίας του). Συγχρόνως το δίκτυο των υπογείων έργων χαρακτηρίζεται από την παραβολική καμπύλη ($h=R*Q^2$). Δεδομένου ότι οι απώλειες πίεσης που συμβαίνουν κατά τη ροή του αέρα πρέπει να ισοσταθμιστούν από την πίεση που θα προκαλέσει την ροή, (δηλαδή την πίεση του ανεμιστήρα), είναι φανερό ότι ο ανεμιστήρας που εισάγεται στο σύστημα θα επιλέξει ως σημείο λειτουργίας του το σημείο τομής των δύο χαρακτηριστικών καμπυλών που προαναφέρθηκαν (Εικόνα 4.18). Το σημείο αυτό παραμένει σταθερό εφόσον οι παράμετροι τόσο του δικτύου (αντίσταση, φυσικός ελκυσμός, κλπ) παραμένουν σταθερές (Αγιουτάντης, 2012).

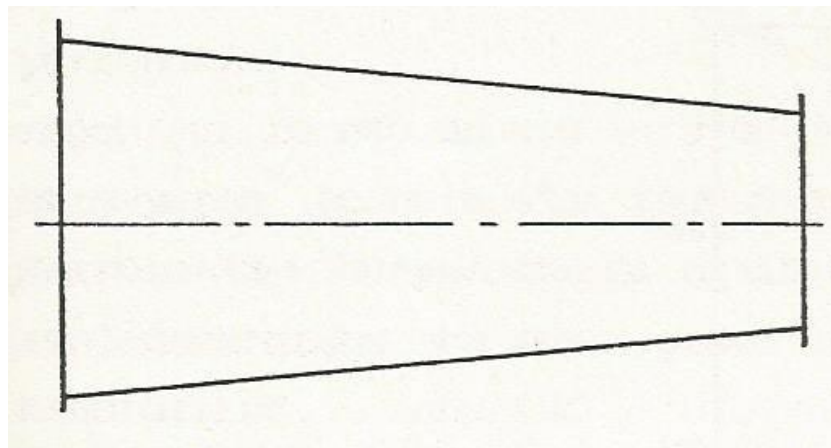


Εικόνα 4.18 Σημείο λειτουργίας ανεμιστήρα (Αγιουτάντης,2012).

Στη συνήθη μεταλλευτική πρακτική προκειμένου να καθορισθεί το σημείο λειτουργίας χρησιμοποιούνται οι χαρακτηριστικές καμπύλες πιέσεων-παροχών (ανεμιστήρα και μεταλλείου) που αναφέρονται στις στατικές πιέσεις. Οι περισσότεροι ανεμιστήρες έχουν σχεδιασθεί ώστε να λειτουργούν με ασφάλεια και οικονομία σε ορισμένο μόνο τμήμα της κατασκευαστικής καμπύλης τους.

4.10.2 Διασκορπιστές

Η μετατροπή μέρους της δυναμικής πίεσης του αέρα, η οποία αποτελεί ουσιαστικά απώλεια για το σύστημα αερισμού, σε στατική πίεση είναι δυνατόν να επιτευχθεί με τη βοήθεια κατάλληλων αγωγών (συνήθως μεταλλικών) οι οποίοι προσαρμόζονται στους ανεμιστήρες και καλούνται διασκορπιστές.



Εικόνα 4.19 Διασκορπιστής

Οι διασκορπιστές έχουν σχήμα κόλουρου κώνου έτσι ώστε να επιτυγχάνεται σταδιακή αύξηση της διατομής και επομένως μείωση της ταχύτητας του αέρα που εισέρχεται στο δίκτυο (φυσητήρας) ή εξέρχεται στην ατμόσφαιρα (μυζητήρας) (Αγιουτάντης, 2012).

4.10.3 Συνδυασμός ανεμιστήρων

Η εφαρμογή της συνολικής μηχανικής παραγόμενης πίεσης σε ένα σημείο του δικτύου, η οποία απαιτείται για τον αερισμό ενός μεταλλείου, είναι κατά κανόνα περισσότερο οικονομική.

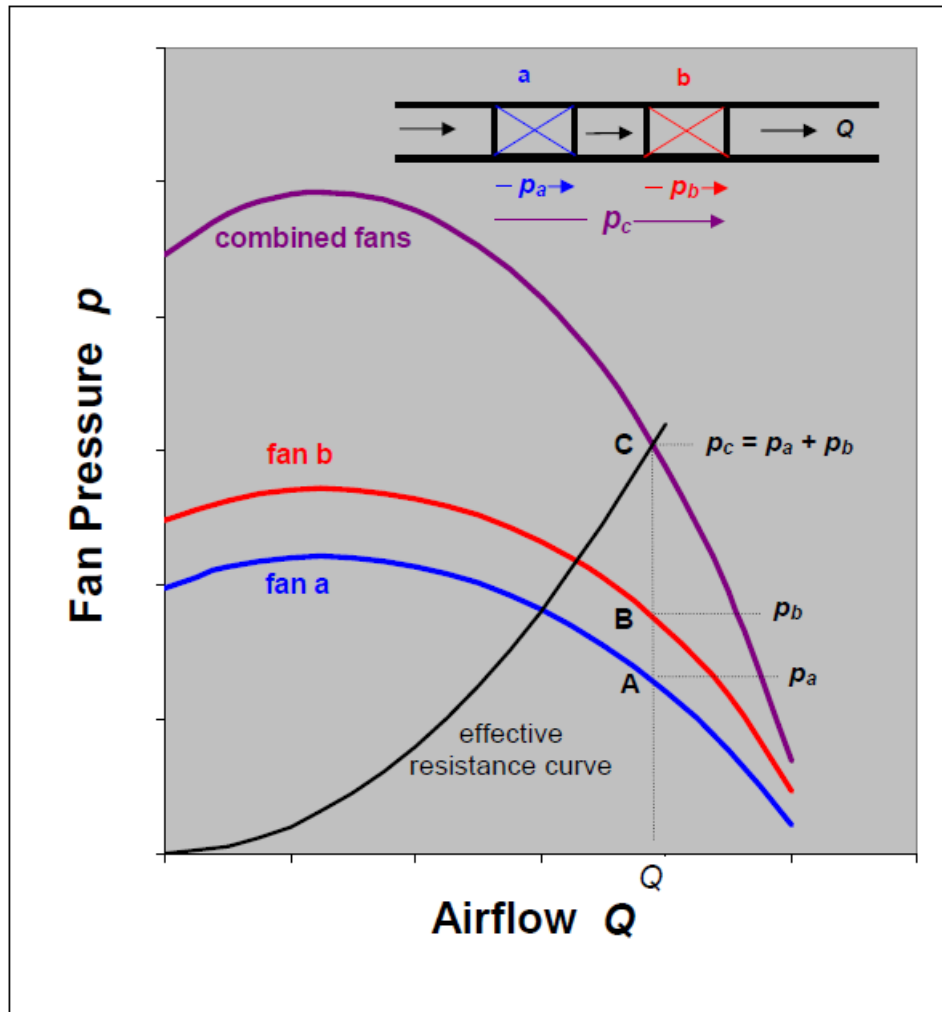
Εν τούτοις, η εφαρμογή της πίεσης αυτής σε περισσότερα του ενός σημεία του δικτύου μπορεί να εξασφαλίσει περισσότερη αποτελεσματική διανομή της ροής και καλύτερη λειτουργία του συστήματος ιδιαίτερα σε περιπτώσεις εξαιρετικά υψηλής αντίστασης.

Η χρησιμοποίηση δύο ή περισσότερων ανεμιστήρων μπορεί να γίνει με τοποθέτηση τους στο δίκτυο είτε σε σειρά, είτε σε παράλληλη διάταξη, ή ακόμη σε κατάλληλο μεταξύ τους συνδυασμό.

Προς απλοποίηση των περιπτώσεων που ακολουθούν, οι δυναμικές πιέσεις των ανεμιστήρων θεωρούνται αμελητέες και παραλείπονται. Συνεπώς οι στατικές πιέσεις που παρατίθενται υποτίθεται ότι αντιστοιχούν στις ολικές πιέσεις (Οικονομόπουλος, 1991).

4.10.3.1 Ανεμιστήρες σε σειρά

Στην εικόνα 4.20 φαίνονται δύο ανεμιστήρες **a** και **b**, τοποθετημένοι σε σειρά μέσα σε έναν αγωγό ή αεραγωγό. Επίσης, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά πίεσης και παροχής, καθώς επίσης και η χαρακτηριστική καμπύλη του μεταλλείου. Η χαρακτηριστική καμπύλη για τον συνδυασμένο αποτέλεσμα προκύπτει εύκολα με πρόσθεση των επιμέρους πιέσεων των ανεμιστήρων για κάθε τιμή της παροχής του αέρα.

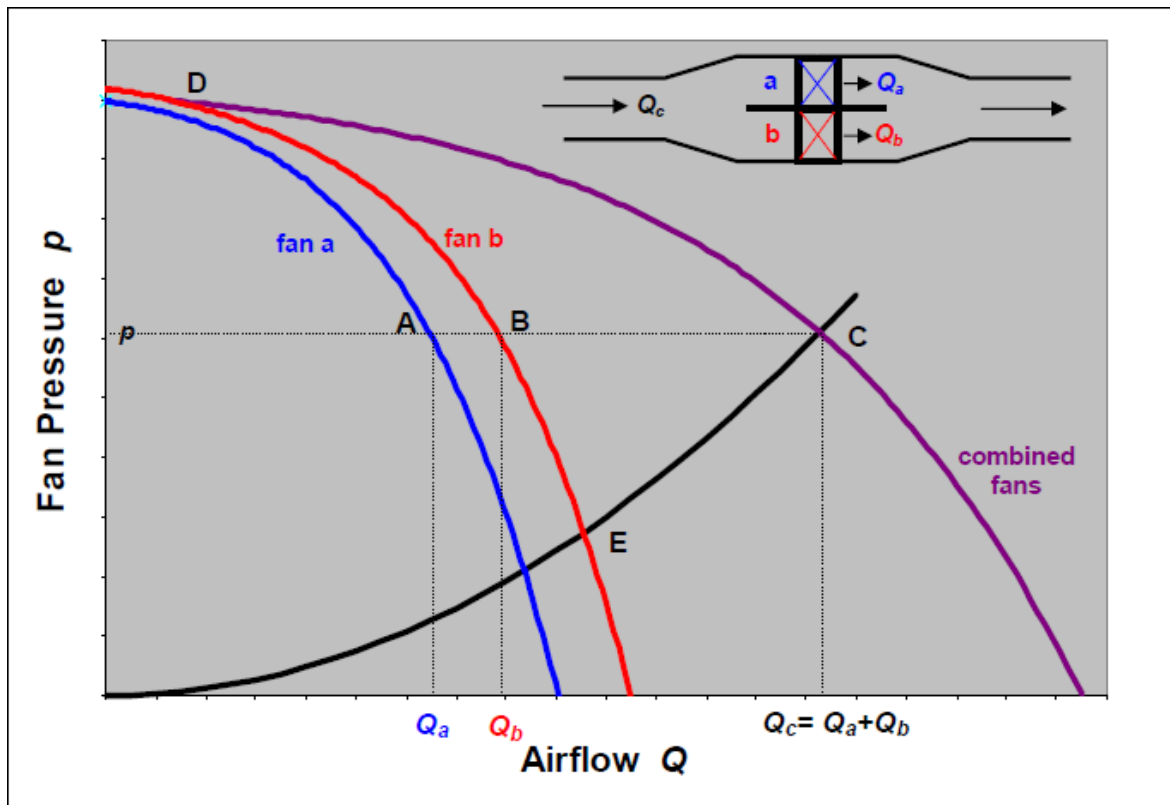


Εικόνα 4.20 Χαρακτηριστικές καμπύλες και σημείο λειτουργίας για ανεμιστήρες συνδεδεμένους σε σειρά (McPherson, 1993).

Το σημείο λειτουργίας του συστήματος, **C**, βρίσκεται στο σημείο τομής της χαρακτηριστικής καμπύλης του μεταλλείου και της καμπύλης του συνδυασμένου αποτελέσματος από τη σύγχρονη λειτουργία των ανεμιστήρων. Οι ανεμιστήρες **a** και **b**, παράγουν την ίδια παροχή Q και αναπτύσσουν πιέσεις p_a και p_b αντίστοιχα. Τα μεμονωμένα σημεία λειτουργίας τους παρουσιάζονται ως **A** και **B**. Για τρεις ή περισσότερους ανεμιστήρες, η διαδικασία πρόσθεσης των πιέσεων τους παραμένει η ίδια.

4.10.3.2 Ανεμιστήρες σε παράλληλη διάταξη

Για ανεμιστήρες που είναι συνδεδεμένοι παράλληλα, οι παροχές προστίθενται για οποιαδήποτε πίεση, για τον σχεδιασμό της συνδυαστικής καμπύλης ανεμιστήρων. Όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί, οι ανεμιστήρες **a** και **b** προσφέρουν παροχές Q_a και Q_b , αντίστοιχα, αλλά με την ίδια πτώση πίεσης, p .



Εικόνα 4.21 Χαρακτηριστικές καμπύλες δύο ανεμιστήρων τοποθετημένων παράλληλα (McPherson, 1993).

Το σημείο λειτουργίας για το συνδυασμένο αποτέλεσμα εμφανίζεται στο C, για τα σημεία λειτουργίας A και B για τους ανεμιστήρες **a** και **b**, αντίστοιχα. Εδώ πάλι, δεν κρίνεται αναγκαίο οι δύο ανεμιστήρες να είναι παρόμοιοι.

Παρ' όλα αυτά, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή για να βεβαιωθεί ότι τα σημεία λειτουργίας A και B δε θα μετακινηθούν πολύ μακριά πάνω από τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές τους καμπύλες. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό στους αξονικούς ανεμιστήρες λόγω των χαρακτηριστικών τους. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να διερευνηθεί η μέγιστη διακύμανση που μπορεί να δεχτεί η αντίσταση του συστήματος, σε περίπτωση παράλληλης διάταξης.

Ένα πλεονέκτημα, της παράλληλης διάταξης είναι ότι σε περίπτωση που σταματήσει να λειτουργεί ένας ανεμιστήρας, τότε αυτός που θα μείνει σε λειτουργία θα συνεχίσει να προμηθεύει ένα σημαντικό ποσοστό της αρχικής ενέργειας. Στο παράδειγμα της εικόνας 4.21, αν ο ανεμιστήρας **a** σταματήσει να λειτουργεί τότε το σημείο λειτουργίας για τον ανεμιστήρα **b** θα μετακινηθεί στη θέση E, προσφέροντας περίπου το 70% της αρχικής παροχής. Αυτό βέβαια εξαρτάται και από τα χαρακτηριστικά και τον αριθμό των ανεμιστήρων.

4.10.4 Συνδυασμός ανεμιστήρων και φυσικού ελκυσμού

Σε μεταλλεία μεγάλου βάθους, οι πιέσεις φυσικού ελκυσμού είναι σημαντικές και συνήθως αποτελούν υπολογίσιμο παράγοντα αναφορικά με τον καθορισμό της παροχής και γενικότερα της λειτουργίας του ανεμιστήρα.

Εάν οι μεταλλευτικές εργασίες αναπτύσσονται σε ένα και μόνο οριζόντιο επίπεδο, η πίεση φυσικού ελκυσμού εργάζεται σε σειρά με τον ανεμιστήρα, ενώ σε μεταλλεία με πολλαπλούς ορόφους (πατώματα) οι αναπτυσσόμενες πιέσεις φυσικού ελκυσμού επιδρούν μεταξύ τους σαν ομάδα ανεμιστήρων, σταθερής πίεσης, σε παράλληλη διάταξη και η προκύπτουσα τελικά πίεση εργάζεται σε σειρά με τους ανεμιστήρες του κυρίου ρεύματος του αέρα.

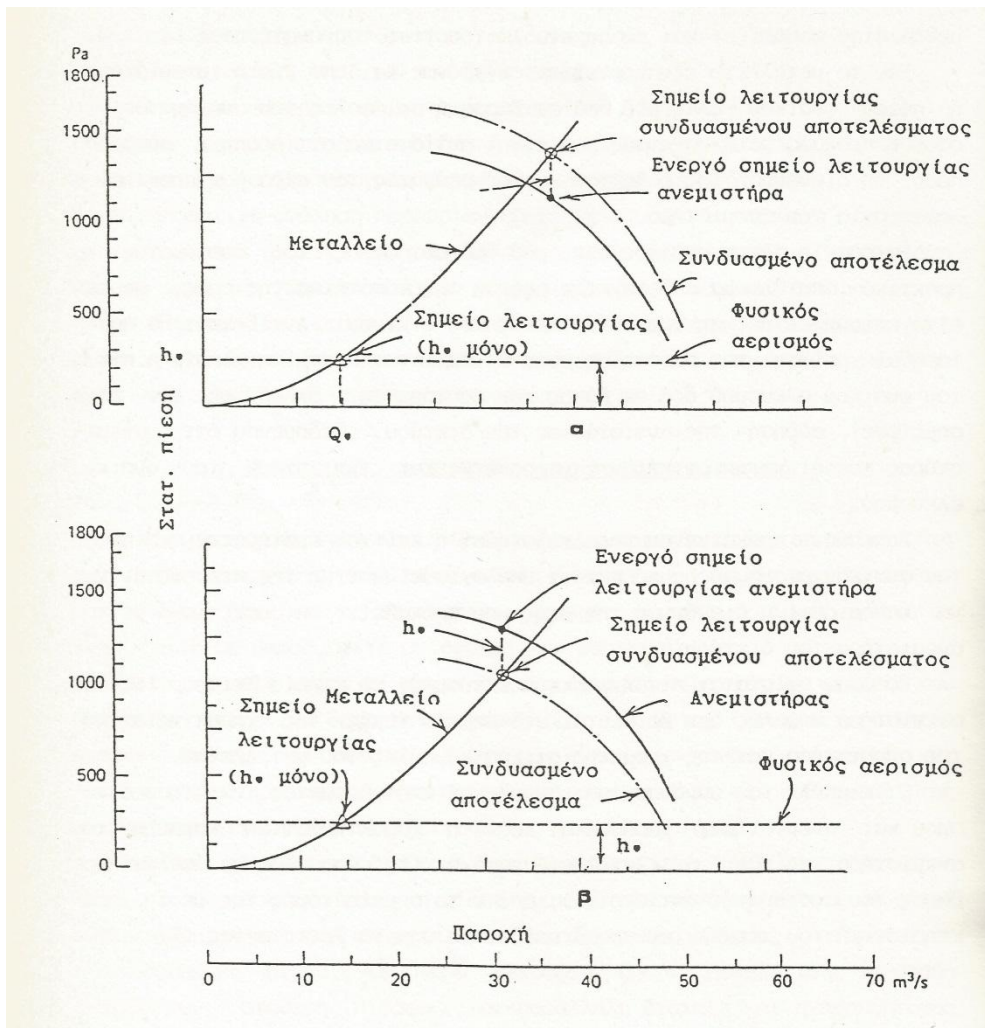
Η πίεση φυσικού ελκυσμού παριστάνεται με ευθεία γραμμή, είναι όμως προφανές ότι σε περίπτωση κατά την οποία αποτελεί τη μόνη πηγή πίεσης, η τομή της ευθείας αυτής και της χαρακτηριστικής καμπύλης του μεταλλείου καθορίζει και το σημείο λειτουργίας του συστήματος.

Εάν το μεταλλείο εξυπηρετείται συγχρόνως και από κύριο ανεμιστήρα, η πίεση φυσικού ελκυσμού επιδρά σε βάρος ή σε όφελος του συστήματος εφ' όσον η προκαλούμενη υπ' αυτής ροή είναι αντίστοιχα αντίρροπη ή ομόρροπη προς τη διεύθυνση της ροής του κυρίου ρεύματος του αέρα που προκαλεί η λειτουργία του ανεμιστήρα.

Συνεπώς, προκειμένου να αξιολογηθεί η επίπτωση του φυσικού αερισμού στο σύστημα θα πρέπει να υπολογισθεί η τιμή της πίεσης h_e (φυσικού αερισμού) και να καθορισθεί η διεύθυνση της ροής που προκαλεί, σε συσχετισμό με τον ανεμιστήρα του δικτύου.

Εφ' όσον υφίσταται πίεση φυσικού ελκυσμού, το σημείο λειτουργίας του ανεμιστήρα ασφαλώς δεν βρίσκεται στο σημείο τομής της χαρακτηριστικής του ανεμιστήρα και της χαρακτηριστικής καμπύλης του μεταλλείου.

Η καμπύλη του συνδυασμένου συνολικού αποτελέσματος, φυσικού ελκυσμού και ανεμιστήρα, χαράσσεται εάν η χαρακτηριστική καμπύλη του ανεμιστήρα "αυξηθεί" ή "ελαττωθεί" κατά h_e (δεδομένου ότι δεν επιδρά σε όφελος ή σε βάρος του συστήματος αντίστοιχα), οπότε το σημείο τομής της με τη χαρακτηριστική καμπύλη του μεταλλείου προσδιορίζει το σημείο λειτουργίας όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2.



Εικόνα 4.22 Συνύπαρξη μηχανικού και φυσικού αερισμού. Φυσικός αερισμός σε όφελος (α) και σε βάρος (β) (Οικονομόπουλος, 1991).

4.10.5 Βελτίωση του αερισμού σε τμήμα του δικτύου

Το υπόγειο δίκτυο, ιδιαίτερα δε των μεταλλικών μεταλλείων, είναι πολλές φορές ακανόνιστο και αυτό, κατά κύριο λόγο οφείλεται σε μορφολογικές ανωμαλίες των κοιτασμάτων, οι οποίες επηρεάζουν τη διάταξη των μεταλλευτικών έργων, τόσο κατά τη φάση ανάπτυξης, όσο και κατά τη φάση της εκμετάλλευσης.

Βελτίωση των συνθηκών αερισμού σε τμήμα του δικτύου μπορεί να πραγματοποιηθεί:

- Με την ελάττωση της αντίστασης του, που επιτυγχάνεται με ευθυγράμμιση των στοών, βελτίωση της κατάστασης των τοιχωμάτων τους και αύξηση της διατομής τους αν αυτό είναι οικονομικώς δυνατό. Επιπροσθέτως, με την αφαίρεση τυχόν υπαρχόντων εμποδίων.
- Με την αύξηση της αντίστασης άλλων τμημάτων (μέσω τοποθέτησης ρυθμιστικών θυρών) προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή αναλογία

διανομής της παροχής (ελεγχόμενη διανομή) πράγμα που συνεπάγεται αύξηση της ταχύτητας του ανεμιστήρα, ούτως ώστε η συνολική ροή, η οποία είχε μειωθεί λόγω των αντιστάσεων που παρεμβλήθηκαν, να φθάσει στο επιθυμητό ύψος.

- Με την εφαρμογή πίεσης κατ' ευθείαν προς το τμήμα που παρουσιάζει την υψηλή αντίσταση, πράγμα που επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση ενός ή περισσότερων προσθέτων (προωθητικών) ανεμιστήρων.

Η τελευταία από τις παραπάνω ενέργειες είναι συνήθως η περισσότερο αποτελεσματική και οικονομική, παρ' όλον ότι με την τοποθέτηση ρυθμιστικών θυρών μπορεί να αντιμετωπισθούν αμέσως έκτακτα περιστατικά ή προσωρινές αυξημένες απαιτήσεις παροχής του αέρα.

4.10.6 Διευθέτηση του ρεύματος του αέρα

Είναι γνωστό ότι αν δεν γίνουν ενέργειες για ρύθμιση επί του δικτύου ο εισερχόμενος στο μεταλλείο αέρας θα κατανεμηθεί σύμφωνα με τους νόμους της ροής, όπως εξετάσθηκαν στα προηγούμενα. Η φυσική αυτή διανομή δεν είναι συνήθως αποτελεσματική και δεν ικανοποιεί τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του μεταλλείου, που αφορούν στον αερισμό του υπογείου δικτύου και ειδικότερα των μετώπων, οπότε είναι δυνατόν να καταστεί απαραίτητη η εφαρμογή ελεγχόμενης διανομής της παροχής.

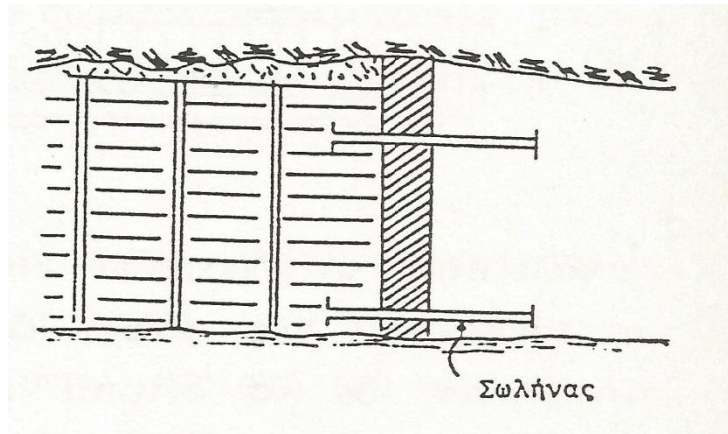
Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο όπως η διεύθυνση και η παροχή των ρευμάτων αέρα διευθετούνται και ελέγχονται αποτελεσματικά, προκειμένου να επιτυγχάνεται η ορθή κατανομή της εισερχόμενης ποσότητας του αέρα στο μεταλλείο.

Οι απαιτούμενες για την εν λόγω διευθέτηση διατάξεις περιλαμβάνουν κυρίως φράγματα, θύρες, ρυθμιστές, παραπετάσματα και διασταυρώσεις.

4.10.6.1 Φράγματα

Τα φράγματα κατασκευάζονται από άκαυστα υλικά, όπως τούβλα, τσιμεντόλιθους, σκυρόδεμα ή ακόμη και δι' εγκιβωτισμού χωμάτων ή σκύρων (εικόνα 4.23). Τα φράγματα μπορεί να είναι προσωρινά, οπότε έχουν γενικώς μικρό χρόνο ζωής ή ακόμη και μόνιμα, οπότε χρησιμεύουν για την πλήρη και αεροστεγή απομόνωση εγκαταλελειμμένου τμήματος μεταλλείου.

Είναι φανερό ότι απαραίτητη προϋπόθεση της καλής κατασκευής ενός φράγματος αποτελεί η αεροστεγανότητά του.



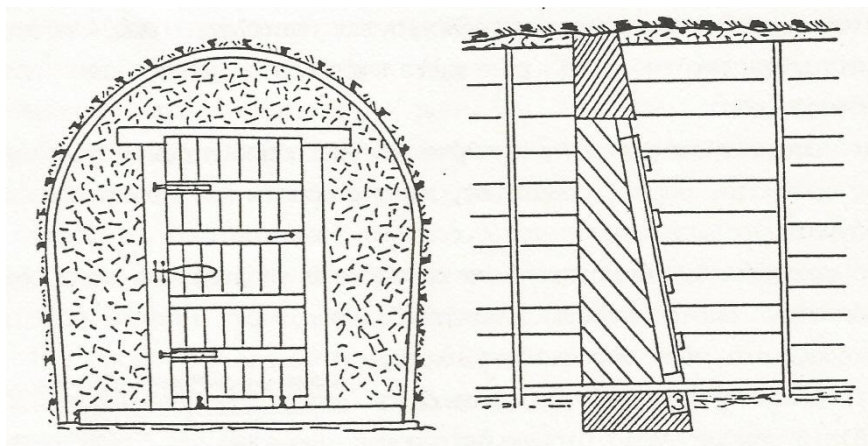
Εικόνα 4.23 Στεγανό φράγμα (Οικονομόπουλος, 1991).

4.10.6.2 Θύρες

Οι τοποθετούμενες στις στοές θύρες έχουν ως σκοπό να εμποδίσουν τη δίοδο του αέρα, ή να ρυθμίσουν τη διανομή της παροχής στα επιθυμητά επίπεδα, χωρίς όμως να παρεμποδίζεται η διέλευση του προσωπικού και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στην εκμετάλλευση.

Αρχικά η εγκατάσταση θυρών, ιδιαίτερα επί των κυρίων στοών μεταφοράς, αλλά και γενικότερα, πρέπει να αποφεύγεται διότι επηρεάζουν το σύστημα αερισμού και προκαλούν δυσχέρειες στη λειτουργία του μεταλλείου. Εφ' όσον όμως η εγκατάσταση κριθεί απαραίτητη πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια ώστε να είναι επιμελημένης κατασκευής και κατά το δυνατόν στεγανές, ώστε να αποφεύγονται απώλειες αέρα ή βραχυκυκλώματα.

Οι θύρες κατασκευάζονται από ξύλα ή ελάσματα και ανεξάρτητα από το μέγεθος τους στηρίζονται σε πλαίσια από σκυρόδεμα, τούβλα ή τσιμεντόλιθους (εικόνα 28). Κατά την κατασκευή της θύρας πρέπει να εξασφαλίζεται η απαραίτητη στεγανότητα, τόσο μεταξύ του πλαισίου και των τοιχωμάτων της στοάς, όσο και του πλαισίου και της θύρας, επιπροσθέτως δε να δίνεται κατάλληλη κλίση ώστε η θύρα, μετά το άνοιγμα, να κλείνει μόνη της.



Εικόνα 4.24 Ξύλινη πόρτα (Οικονομόπουλος, 1991).

Εάν επιδιώκεται η αποφυγή βραχυκυκλωμάτων του αέρα, έστω και στιγμιαίων, οι θύρες πρέπει να τοποθετούνται κατά ζεύγη, σε ορισμένη κατά περίπτωση απόσταση μεταξύ τους (air lock). Η διάταξη αυτή εφαρμόζεται, τόσο στις κύριες στοές μεταφοράς, όσο και κατά την εγκατάσταση των ανεμιστήρων και επιτρέπει το εύκολο άνοιγμα των θυρών, επί των οποίων μπορεί να ασκούνται σημαντικές πιέσεις αέρα.

Θα πρέπει σχετικά να σημειωθεί ότι στις απλές θύρες οι ασκούμενες πιέσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν κατά πολύ τα 25 mmH₂O διότι το άνοιγμά τους δυσχεραίνεται. Εφ' όσον οι πιέσεις είναι υψηλότερες απαιτείται η τοποθέτηση ζεύγους θυρών ώστε να κατανέμεται η διαφορά πίεσης σε αμφότερες τις θύρες. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι ασκούμενες επί του ζεύγους των θυρών πιέσεις σπάνια υπερβαίνουν τα 50 mmH₂O.

Γενικώς, εάν οι διαφορές πιέσεων είναι μεγαλύτερες η δίοδος δια μέσου των θυρών είναι δυσχερής ή και επικίνδυνη γι' αυτό και πρέπει να προβλέπονται κατάλληλοι μηχανισμοί χειρισμού (με πεπιεσμένο αέρα, υδραυλικοί κλπ.). Εάν παρόμοιοι μηχανισμοί δεν υφίστανται θα πρέπει επί της κύριας θύρας να υπάρχει μια άλλη μικρότερη, το άνοιγμα της οποίας να επιτυγχάνεται εύκολα, προκειμένου να εξισωθούν οι πιέσεις σε αμφότερες τις πλευρές ώστε να επιτευχθεί το άνοιγμα της κύριας θύρας.

Προς διευκόλυνση του καθορισμού των διαφορικών πιέσεων κατά την εκτέλεση σχετικών μετρήσεων αφήνεται επί των θυρών μικρή οπή (διαμέτρου συνήθως 10-15 mm) για τη δίοδο του σωλήνα του μανομέτρου.

4.10.6.3 Ρυθμιστές

Εάν επί της θύρας αφεθεί άνοιγμα (παραθύρου) η διατομή του οποίου μπορεί να αυξομειώνεται με τη βοήθεια συρταρωτού καλύμματος, τότε η θύρα αποτελεί ρυθμιστή της παροχής, δεδομένου ότι επιτρέπει τη δίοδο της επιθυμητής ποσότητας του αέρα (Οικονομόπουλος, 1991).

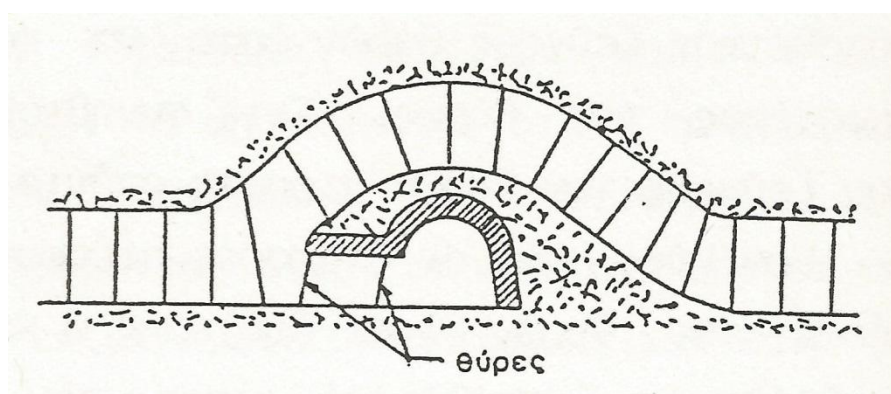
4.10.6.4 Παραπετάσματα

Τα παραπετάσματα (κουρτίνες) αποτελούνται συνήθως από κατάλληλο ύφασμα ή πλαστικό υλικό, κατά το δυνατόν άφλεκτο, και χρησιμοποιούνται για να κατευθύνουν το ρεύμα αέρος στην περιοχή του μετώπου εκμετάλλευσης. Είναι προσωρινού χαρακτήρα και επομένως η ανάρτησή τους είναι σχετικά πρόχειρη.

4.10.6.5 Διασταυρώσεις

Σημειώνεται, τέλος, ότι πολλές φορές είναι απαραίτητη η διασταύρωση δύο στοών των οποίων τα ρεύματα αέρα πρέπει να μη διαταραχθούν. Η περίπτωση αυτή είναι περισσότερο συνήθης κατά την εκμετάλλευση οριζοντίων κοιτασμάτων είναι όμως δυνατό να αποφευχθεί εάν οι προς διασταύρωση στοές ορυχθούν σε διαφορετικά επίπεδα.

Η διάταξη διασταύρωσης δύο στοών, ώστε να αποφεύγεται η αλληλεπίδραση των ρευμάτων του αέρα δίνεται στην εικόνα. Από το πάχος του στύλου που αφήνεται μεταξύ της οροφής και των παρειών της κάτω στοάς και του δαπέδου της άνω στοάς εξαρτάται η στεγανότητα της διασταύρωσης και η αντοχή της σε περίπτωση καταπτώσεων ή εκρήξεων.



Εικόνα 4.25 Διάταξη διασταύρωσης στοών (Οικονομόπουλος, 1991).

Προς ενίσχυση της κατασκευής επενδύεται συνήθως τμήμα της κάτω στοάς με σκυρόδεμα. Οπωσδήποτε όμως, αυτές οι διατάξεις διασταυρώσεων προκαλούν δυσχέρειες στην κυκλοφορία του προσωπικού, επιπροσθέτως δε εάν εκτελείται μεταφορά υλικών μέσω της άνω στοάς απαιτείται πρόσθετη εργασία μεταφόρτωσης (Οικονομόπουλος, 1991).

4.11 Βοηθητικός αερισμός

4.11.1 Γενικά-σκοπός του βοηθητικού αερισμού

Με το βοηθητικό ή δευτερεύοντα αερισμό επιδιώκεται η εξασφάλιση του απαραίτητου αέρα στο τμήματα εκείνα του δικτύου τα οποία δεν διαρρέονται από το ρεύμα του κύριου αερισμού ή πρωτεύοντος αερισμού. Όπως θα εξηγηθεί λεπτομερέστερα στα επόμενα, ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση κατάλληλου εξοπλισμού (κυρίως ανεμιστήρων και αεραγωγών) με τη βοήθεια του οποίου ουσιαστικά ενισχύεται το σύστημα του κυρίου αερισμού με πρόσθετες πηγές πίεσης.

Ο βοηθητικός αερισμός αφορά κατά κύριο λόγο σε στοές υπό προχώρηση, σε μέτωπα εκμετάλλευσης που δεν έχουν άμεση σύνδεση με στοές επιστροφής του αέρα και γενικά σε υπόγειες εκσκαφές οι οποίες λόγω του είδους και της θέσης τους δεν εξυπηρετούνται από το πρωτεύον ρεύμα.

Εξ' άλλου και η χρησιμοποίηση πρόσθετων ανεμιστήρων, μεγάλης σχετικής ισχύος, προς βελτίωση των συνθηκών του αερισμού τμήματος ή τμημάτων του μεταλλείου τα οποία παρουσιάζουν αυξημένες ανάγκες παροχής, αποτελεί, έστω και κατ' ευρεία έννοια, πρακτική που εντάσσεται στη διαδικασία του βοηθητικού αερισμού.

Η ποσότητα του αέρα που διοχετεύεται με το βοηθητικό αερισμό πρέπει να εξασφαλίζει την άνετη αναπνοή, την αραίωση και απαγωγή των καπνών που παράγονται κατά την αποσύνθεση των χρησιμοποιούμενων εκρηκτικών υλών ως και την αραίωση και απαγωγή των αερίων που προέρχονται, είτε από το κοίτασμα και τα περιβάλλοντα πετρώματα, είτε από τις εκπομπές των μηχανών εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούνται κατά την ορυκτική και εξορυκτική διαδικασία (Οικονομόπουλος, 1991).

4.11.2 Αρχικός προγραμματισμός και θέση τοποθέτησης

Ένα πρώτο βήμα στο σχεδιασμό της ενσωμάτωσης ενός βοηθητικού ανεμιστήρα στο κύριο σύστημα ενός υπόγειου μεταλλείου είναι η ενημέρωση ή η λήψη πληροφοριών μέσω διεξαγωγής έρευνας αερισμού στο δίκτυο και η ενσωμάτωση αυτών στο βασικό δίκτυο αερισμού.

Η διαδικασία αυτή προϋποθέτει κάποια στάδια, στα οποία πρέπει να διερευνηθούν διεξοδικά όλες οι βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις. Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν:

- προσθήκη ή αναβάθμιση κύριων ανεμιστήρων

- διεύρυνση των υφιστάμενων αεραγωγών ή/και τη δημιουργία νέων, τα οποία περιλαμβάνουν φρέατα ή άλλες συνδέσεις με την επιφάνεια
- επανασχεδιασμό της υπόγειας διάταξης για τη μείωση των διαρροών και των αντιστάσεων του συστήματος
- μειώνοντας την αντίσταση μετώπου με τον επανασχεδιασμό του συστήματος αερισμού για τα μέτωπα ή αντικατάσταση των γραμμών υποστήριξης με βοηθητικούς αγωγούς ή ανεμιστήρες

Εάν αποφασιστεί η συνέχιση του σχεδιασμού εγκατάστασης βοηθητικού ανεμιστήρα, θα πρέπει να ακολουθηθεί μια δεύτερη σειρά “ερευνών” για την επιλογή της καταλληλότερης θέσης. Συμβατικά προγράμματα προσομοίωσης αερισμού (VNET, VentSim) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό. Κάθε μια από τις εναλλακτικές εφικτές θέσεις προσομοιώνονται σε μια σειρά με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών, προκειμένου να γίνει σύγκριση των προτύπων ροής και του λειτουργικό κόστους αντίστοιχα. Τα πρότυπα αυτά, πρέπει να ελέγχονται με βάση τα όρια των παροχών και των ταχυτήτων του αέρα, τα οποία καθορίζονται από το νόμο. Επιπλέον, είναι απαραίτητος ο έλεγχος διαφόρων άλλων παραμέτρων σε μία έρευνα για βοηθητικό ανεμιστήρα.

4.11.3 Πρακτικοί περιορισμοί στη θέση εγκατάστασης του βοηθητικού ανεμιστήρα

Παρά το γεγονός, ότι υπάρχουν πολλά σημαντικά σημεία στο δίκτυο που, θεωρητικά, μπορεί να γίνει η εγκατάσταση του βοηθητικού εξοπλισμού, πολλά από αυτά απορρίπτονται για πρακτικούς λόγους.

Σε σημεία ελεγχόμενης παροχής, θα πρέπει, όσο το δυνατόν να αποφεύγεται η τοποθέτηση βοηθητικών ανεμιστήρων. Επιπλέον το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του βοηθητικού ανεμιστήρα σε ένα συγκεκριμένο σημείο αποτελεί σημαντικό παράγοντα.

4.11.4 Διαρροή και επανακυκλοφορία

Για οποιαδήποτε δεδομένη πίεση που παράγεται από τον βοηθητικό ανεμιστήρα σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο, υπάρχει μια θέση όπου το άθροισμα των διαρροών που εισέρχονται και εξέρχονται είναι ελάχιστο, χωρίς τη δημιουργία ανεπιθύμητης επανακυκλοφορίας. Αυτή η θέση εμφανίζεται όταν δημιουργείται μηδενική διαφορική πίεση στους αγωγούς κατά την είσοδο και έξοδο του αέρα στον ανεμιστήρα. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό με τον όρο “ουδέτερο σημείο”, το οποίο είναι δύσκολο να προσδιορισθεί.

Κατά την τοποθέτηση ενός βοηθητικού ανεμιστήρα, είναι δυνατόν να δημιουργηθεί πτώση της παροχής ή επανακυκλοφορία του αέρα σε άλλα τμήματα

του δικτύου. Για το λόγο αυτό, κατά την προσομοίωση, είναι σημαντικό να ελέγχεται ολόκληρο το κύκλωμα αερισμού και όχι μόνο το τμήμα επιρροής του βοηθητικού ανεμιστήρα.

Τέλος, ένας βοηθητικός ανεμιστήρας μπορεί να είναι αποτελεσματικότερος στη διαχείριση των διαρροών σε σχέση με άλλες διατάξεις που χρησιμοποιούνται για το λόγο αυτό.

4.11.5 Εξοπλισμός βοηθητικού αερισμού

4.11.5.1 Ανεμιστήρες

Ο ανεμιστήρας του βοηθητικού αερισμού έχει ως στόχο να παραλάβει από το κύκλωμα του πρωτεύοντος αερισμού μικρή σχετικά ποσότητα αέρα την οποία, μέσω αγωγού, διοχετεύει σε θέσεις όπου υπάρχει ελλιπής αερισμός.

Οι ανεμιστήρες που χρησιμοποιούνται για τον βοηθητικό αερισμό είναι παρόμοιοι με αυτούς του κύριου αερισμού αλλά με λιγότερες δυνατότητες. Υπάρχουν οι ελικοφόροι και οι κεντρόφυγες, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Η εγκατάσταση του βοηθητικού αερισμού δεν είναι μόνιμη, δεδομένου ότι τόσο οι ανεμιστήρες, όσο και οι αγωγοί μεταφέρονται συχνά από θέση σε θέση ανάλογα με την πρόοδο της εκμετάλλευσης και των αναγκών σε αέρα. Γι' αυτό το λόγο, οι ανεμιστήρες πρέπει να είναι ισχυρής κατασκευής, αεροδυναμικού σχήματος και καταλαμβάνουν τον ελάχιστο δυνατό χώρο. Τις προϋποθέσεις αυτές πληρούν κατά τον καλύτερο τρόπο οι ελικοφόροι ανεμιστήρες.

4.11.5.2 Αγωγοί

Οι αγωγοί του αέρα πρέπει:

- Να παρέχουν ελάχιστη αντίσταση στη δίοδο του αέρα, με λίγες διαφυγές
- Να προσαρμόζονται ευχερώς στις συνθήκες του μεταλλείου
- Να παρουσιάζουν αντοχή στις κακώσεις και στη διάβρωση
- Να μεταφέρονται και να αποθηκεύονται εύκολα
- Να κατασκευάζονται από άφλεκτες ύλες, για να αποφεύγεται η μετάδοση πυρκαγιών
- Να παρουσιάζουν σχετική ηλεκτρική αγωγιμότητα, ώστε να αποφεύγεται η συγκέντρωση ηλεκτροστατικών φορτίων, τα οποία μπορεί να προκληθούν κυρίως από τριβή κονιορτών στην επιφάνεια των αγωγών

Είναι φανερό ότι κάθε τύπος αγωγού δεν είναι δυνατόν να συγκεντρώνει στο μέγιστο βαθμό όλες τις παραπάνω ιδιότητες.

Οι αγωγοί διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τους άκαμπτους και τους εύκαμπτους.

Οι άκαμπτοι αγωγοί κατασκευάζονται από έλασμα (λαμαρίνα), από ξύλα (κόντρα πλακέ) και από άκαμπτη πλαστική ύλη. Χαρακτηρίζονται από την ανθεκτικότητα τους και την μικρή αντίσταση που παρέχουν στη δίοδο του αέρα μέσω αυτών.

Οι εύκαμπτοι αγωγοί χρησιμοποιούνται ευρύτατα. Κατασκευάζονται, είτε από κατάλληλα αδιάβροχα υφάσματα, είτε από αμιγείς πλαστικές ύλες, όπως χλωριούχο βινύλιο, νεοπρένιο, πολυαιθυλένιο κλπ. Το βάρος τους είναι 10 έως 20 φορές μικρότερο, σε σύγκριση με το βάρος των άκαμπτων αγωγών, πράγμα που αποτελεί και το κύριο πλεονέκτημά τους. Παράλληλα όμως παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα, όπως αυξημένη αντίσταση στη δίοδο του αέρα, σημαντικές διαφυγές, μειωμένη σχετικά αντίσταση στη δίοδο της φλόγας και ελαττωμένη γενικά αντοχή στις κακώσεις που οδηγούν συνήθως σε σχισίματα.

Σημειώνεται ότι οι εύκαμπτοι αγωγοί δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε μυζητικό αερισμό εκτός αν διαθέτουν εσωτερικά σπειροειδή ελατήριο για την συγκράτηση της διατομής.

Αναφέρεται, τέλος ότι η σύνδεση των τμημάτων των αγωγών επιτυγχάνεται με συνδέσμους διαφόρων τύπων με κατάλληλες διατάξεις.

Με τη βοήθεια κάποιων σχέσεων μπορούν να υπολογιστούν οι αντιστάσεις και οι απώλειες πίεσεων που δημιουργούνται κατά τη δίοδο του αέρα μέσω των αγωγών (ιδανική προϋπόθεση ότι είναι απόλυτα στεγανοί, πράγμα που δεν συμβαίνει στην πράξη).

Η ανά μονάδα μήκους αντίσταση αγωγού κυκλικής διατομής, διαμέτρου D (m) υπολογίζεται από τη σχέση [4.14] σε kMu.

$$r=0.0156*\lambda'*\frac{\pi}{S^3} \quad [4.14]$$

όπου λ' συντελεστής τριβής χωρίς διαστάσεις.

Συνεπώς, οι απώλειες πίεσης h σε αγωγό μήκους l υπό παροχή Q

$$h=r*l*Q^2 \quad [4.15]$$

Η σχέση [4.15] αυτή ισχύει για άκαμπτους αγωγούς.

Οι τιμές του συντελεστή λ' είναι για την περίπτωση αυτή:

Πίνακας 4.5 Τιμές του συντελεστή τριβής λ' .

Είδος αγωγού	Τιμές του συντελεστή τριβής λ'
Αγωγός από άκαμπτη πλαστική ύλη	0.0180
Καινούριος μεταλλικός αγωγός	0.0205
Αγωγός από ξύλα (κόντρα πλακέ)	0.0220
Μεταλλικός αγωγός που έχει υποστεί σχετική παραμόρφωση και οξείδωση	0.0260

Επίσης οι τιμές αυτές μπορούν να ληφθούν από σχετικούς πίνακες και νομογραφήματα.

Η εξίσωση $h=r*I*Q^2$ δεν έχει εφαρμογή σε εύκαμπτους αγωγούς για πολλούς λόγους, κυρίως δε διότι η διάμετρος αυτών αυξάνεται με την πίεση, με εξαίρεση τις διατομές σύνδεσης των τμημάτων, ως επίσης και γιατί οι αγωγοί σχηματίζουν βέλη κάμψης μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων στήριξης.

Στην πράξη, για τους εύκαμπτους αγωγούς χρησιμοποιείται η σχέση [4.16]:

$$h=0.1*(\lambda'/D^5)*I*Q^a \quad [4.16]$$

όπου ο εκθέτης a λαμβάνει την τιμή 1.7, ενώ ως διάμετρος θεωρείται η ονομαστική διάμετρος του αγωγού.

Ο συντελεστής λ' κυμαίνεται από 0.021-0.026 ανάλογα με την κατάσταση στήριξης του αγωγού.

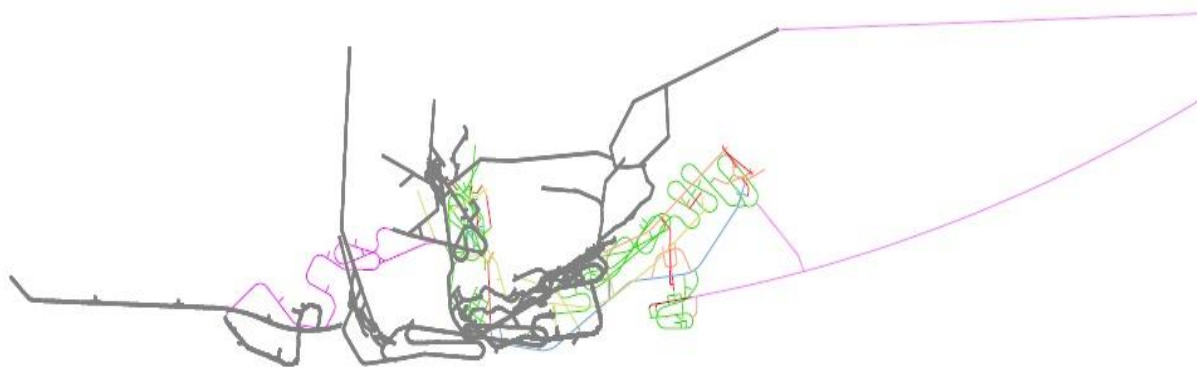
5 ΚΥΡΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

5.1 Συνοπτική περιγραφή παρούσας κατάστασης

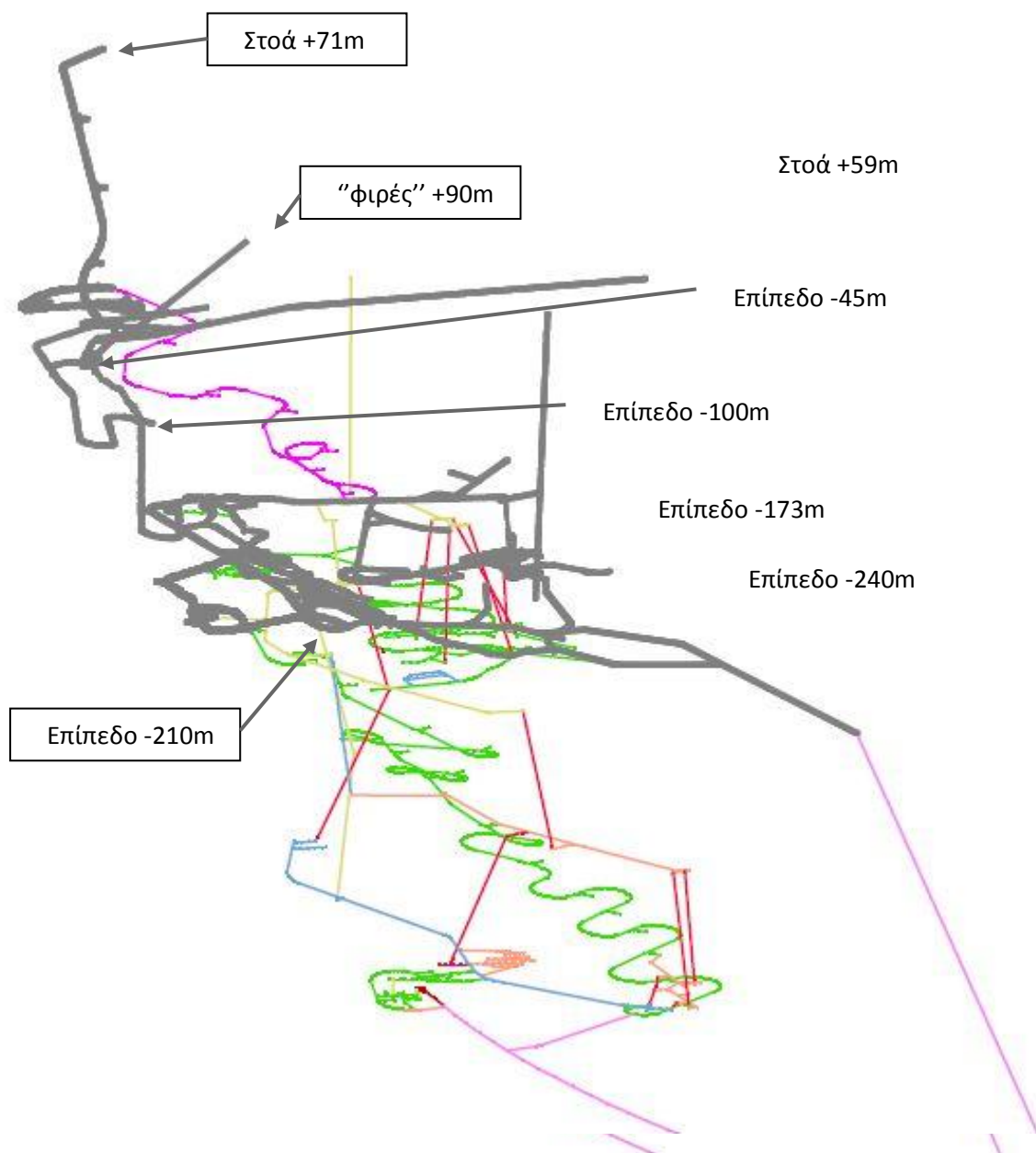
Σήμερα το μεταλλείο Ολυμπιάδας επικοινωνεί με την επιφάνεια μέσα από τα ακόλουθα έργα προσπέλασης: α) τη στοά +71m που ενώνει το μεταλλείο με το εργοστάσιο εμπλουτισμού Ολυμπιάδας, β) τη στοά +59, γ) το φρέαρ -254/+80 και δ) το κεκλιμένο αερισμού (φιρές) +90. Τα έργα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη και εκμετάλλευση του κοιτάσματος μέχρι το επίπεδο -254. Επιπλέον αυτών των έργων υπάρχει μια σειρά υφιστάμενων έργων ανάπτυξης και εκμετάλλευσης τα οποία είτε δεν χρησιμοποιούνται καθόλου είτε πρόκειται να ενταχθούν στην μελλοντική ανάπτυξη του μεταλλείου. Ο μελλοντικός σχεδιασμός του μεταλλείου όπως θα περιγραφεί σε επόμενη ενότητα θα περιλαμβάνει την όρυξη επιπλέον έργων ώστε να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες της αυξημένης παραγωγής μεταλλεύματος στο μέλλον.

Στις εικόνες 5.1, 5.2, 5.3 με γκρι χρώμα, παρουσιάζονται τα έργα που υπάρχουν σε κάτοψη, και πλάγιες όψεις στην παρούσα κατάσταση του μεταλλείου καθώς επισημαίνονται και κάποια από τα βασικά επίπεδα (-45m, -100m, -173m, -210, -240m).

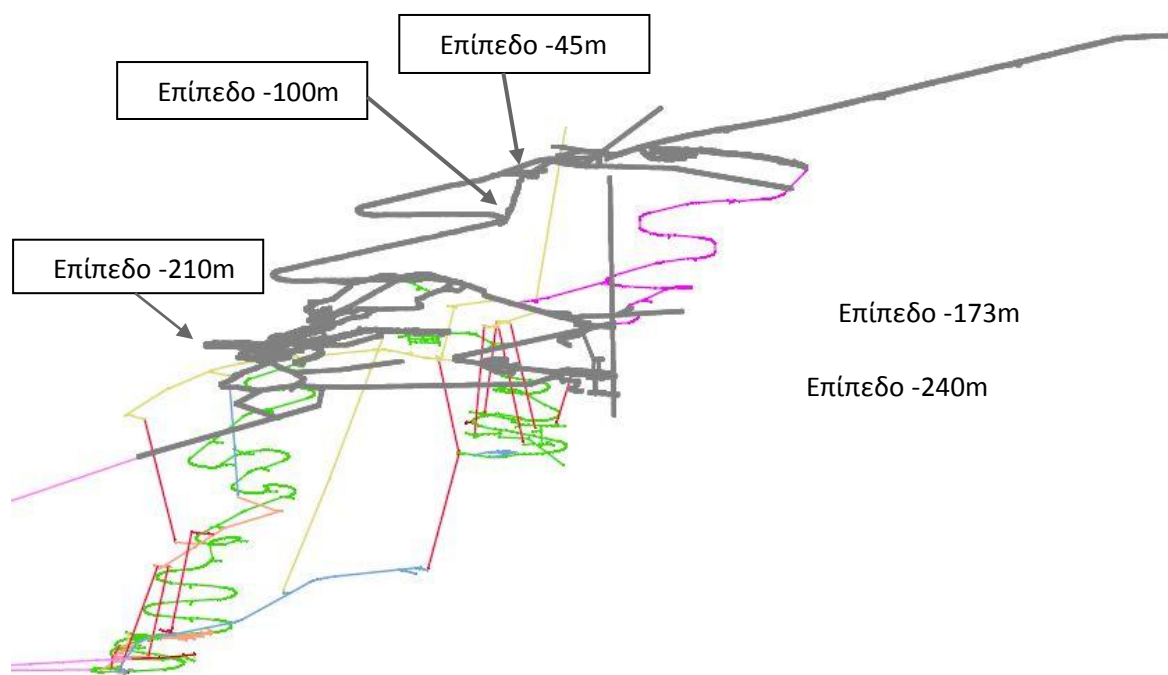
Σήμερα τα έργα που γίνονται στο μεταλλείο Ολυμπιάδας αφορούν αφενός μόν διεύρυνση κάποιων υφιστάμενων ανοιγμάτων και αφερέτου κατασκευή στοών προσπέλασης βαθύτερων μετώπων. Η μεταφορά των εξορυσσομένων προϊόντων γίνεται με φορτηγά μέσω της +71 στην επιφάνεια. Το κύκλωμα αερισμού που περιγράφεται στην παρούσα ενότητα βασίζεται στα υφιστάμενα έργα προσπέλασης, ανάπτυξης και εκμετάλλευσης.



Εικόνα 5.1 Κάτοψη μεταλλείου Ολυμπιάδας στην τελική φάση ανάπτυξης.



Εικόνα 5.2 Πλάγια όψη (από Δυτική πλευρά) μεταλλείου Ολυμπιάδας στην τελική φάση ανάπτυξης-επίπεδα παρούσας κατάστασης.



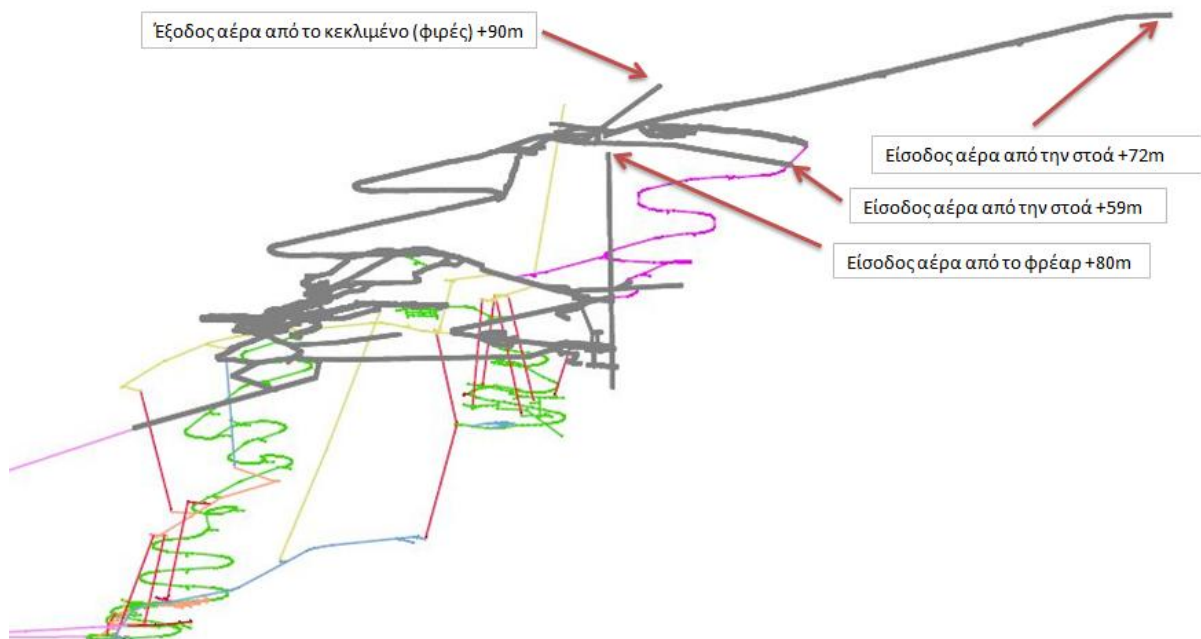
Εικόνα 5.3 Πλάγια όψη (από Ανατολική πλευρά) μεταλλείου Ολυμπιάδας στην τελική φάση ανάπτυξης-επίπεδα παρούσας κατάστασης.

5.2 Κύκλωμα αερισμού στην παρούσα κατάσταση

5.2.1 Είσοδοι και έξοδοι αέρα

Ο αερισμός στο μεταλλείο Ολυμπιάδας λειτουργεί σήμερα ως εξής: Ο αέρας εισέρχεται από τα έργα α) στοά +71, β) στοά +59 και γ) φρέαρ +80 και εξέρχεται από τον Φιρέ, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.4.

Καθώς ο αέρας κινείται πάντα στη διαδρομή με την μικρότερη αντίσταση, στο μεταλλείο χρησιμοποιούνται «πόρτες» αερισμού ώστε να αυξήσουν την αντίσταση κάποιων κλάδων και να ωθήσουν τον αέρα να διέλθει από άλλους κλάδους ανάλογα με τις απαιτήσεις αερισμού. Στην εικόνα 5.5 φαίνονται πόρτες αερισμού στην περιοχή της στοάς +59.



Εικόνα 5.4 Είσοδοι-έξοδοι του αέρα στο Μεταλλείο Ολυμπιάδας.

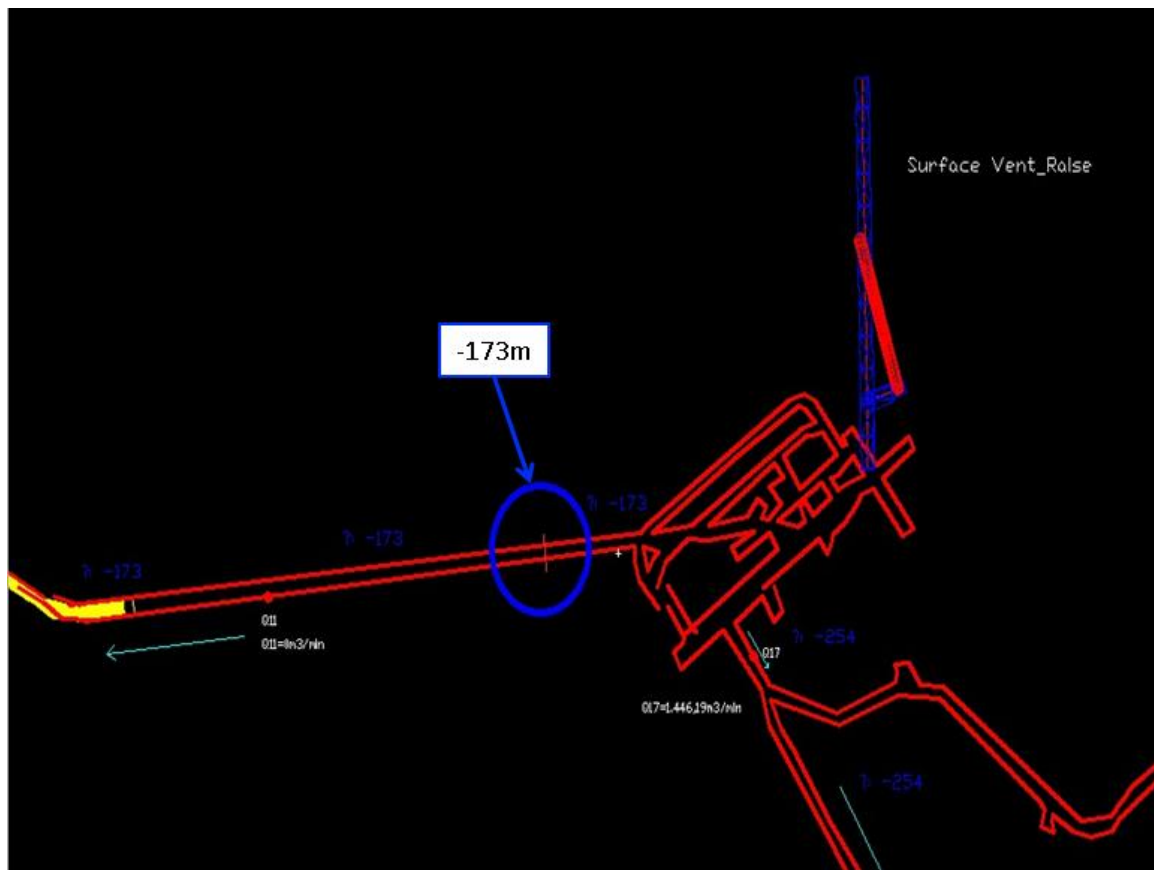


Εικόνα 5.5 Πόρτες στο -18m και -45m στην περιοχή της στοάς +59.

Η πόρτα που βρίσκεται στο σημείο -18m “κατευθύνει” τον αέρα στην ράμπα +59, “απαγορεύοντάς” τον να κινηθεί στο επίπεδο που ακολουθεί όπου εκεί πιθανόν να δημιουργούνται σημαντικές διαρροές λόγω βραχυκύκλωσης του αέρα, που επηρεάζουν το συνολικό κύκλωμα αερισμού.

Σκοπός της πόρτας που είναι τοποθετημένη στο σημείο -45m είναι η αποφυγή διαρροών του αέρα που κυκλοφορεί στην ράμπα +59, όπου γίνεται η μεταφορά στείρων και μεταλλεύματος με τη βοήθεια μηχανοκίνητου εξοπλισμού.

Η τοποθέτηση της πόρτα στο επίπεδο -173m (εικόνα 5.6) “αναγκάζει” τον αέρα να κινηθεί από το επίπεδο -210m αφού στο επίπεδο -173m στην παρούσα κατάσταση δεν εργάζεται προσωπικό και δεν κινείται μηχανοκίνητος εξοπλισμός, για την απαίτηση αερισμού.



Εικόνα 5.6 Πόρτα στο επίπεδο -173m.

5.2.2 Ανεμιστήρες

Στο μεταλλείο Ολυμπιάδας είναι τοποθετημένοι 4 κύριοι ελικοφόροι ανεμιστήρες. Οι δύο από αυτούς είναι εγκατεστημένοι σε παράλληλη διάταξη στην έξοδο του φιρέ (+90m) και λειτουργούν ως μυζητικοί. Οι άλλοι δύο βρίσκονται στο επίπεδο -100m, είναι επίσης εγκατεστημένοι σε παράλληλη διάταξη, και ουσιαστικά

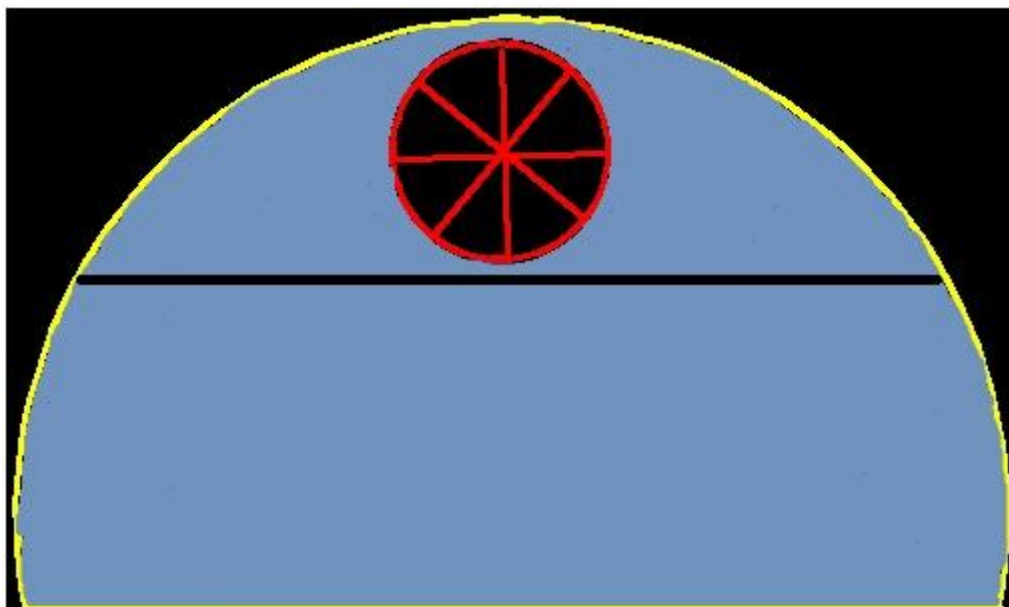
χρησιμοποιούνται για την αύξηση της πίεσης του αέρα στη θέση αυτή. Οι τέσσερις αυτοί ανεμιστήρες εξασφαλίζουν την απαιτούμενη ποσότητα αέρα στα υπόγεια ανεξάρτητα από τα μέτωπα που βρίσκονται σε λειτουργία κάθε φορά.

Με το παραπάνω σύστημα, όμως, δεν ήταν δυνατός ο αερισμός των μετώπων όρυξης της άνω ράμπας ανατολικού η οποία ξεκινάει από τη στοά +71 και θα καταλήξει στην -173. Για τον επαρκή αερισμό των μετώπων αυτών, έγινε η παρακάτω διευθέτηση. Τοποθετήθηκε πόρτα στην στοά+59, (κοντά στο επίπεδο 0), και ανεμιστήρας πάνω από την πόρτα. Ο ανεμιστήρας μέσω “μάνικας” ωθεί τον αέρα στο “τυφλό μέτωπο” της άνω ράμπας ανατολικού. Ο αέρας επιστρέφει μέσω της +71 στο κεντρικό κύκλωμα του αερισμού. Η διάταξη αυτή περιγράφεται στην εικόνα 5.7.



Εικόνα 5.7 Τροφοδοσία αέρα στο “τυφλό μέτωπο” της άνω ανατολικής ράμπας.

Στην εικόνα 5.8 φαίνεται σχηματικά η διάταξη του ανεμιστήρα που είναι εγκατεστημένος πάνω στην πόρτα.



Εικόνα 5.8 Ανεμιστήρας εγκατεστημένος σε πόρτα.

5.2.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά κύριων ανεμιστήρων

Οι τέσσερεις κύριοι ανεμιστήρες που χρησιμοποιούνται (VML 1400) είναι ελικοφόροι και χαρακτηρίζονται από την μέτρια πτώση πίεσης και την αντοχή τους στην διάβρωση. Στον πίνακα 5.1 δίνονται αναλυτικά τα κύρια χαρακτηριστικά λειτουργίας των ανεμιστήρων αυτών.

Πίνακας 5.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμιστήρα VML 1400.

Παροχή	120000 [m ³ /h]
Ολική πίεση	2873 [Pa]
Στατική πίεση	2600 [Pa]
Θερμοκρασία ροής αέρα	20 [°C]
Στροφές έλικα	1450 [1/min]
Γωνία πτερυγίων	21 [°]
Διάμετρος έλικα	1400 [mm]
Ισχύς κινητήρα	132 [kW]
Συνολικό βάρος	1687,5 [kg]

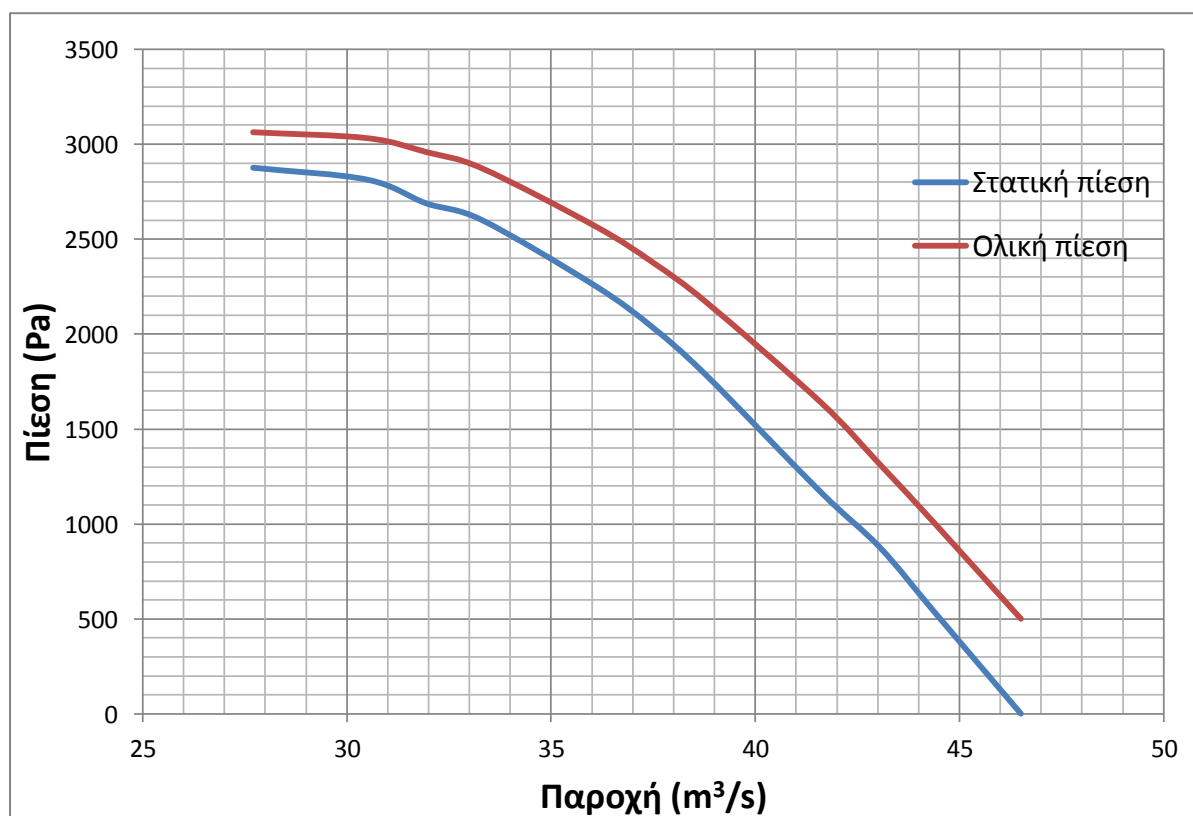
Όπως είναι γνωστό από την θεωρία των ανεμιστήρων σε παράλληλη διάταξη προκύπτει ότι για τις ίδιες τιμές ολικής και στατικής πίεσης, οι τιμές της παροχής προστίθενται αντίστοιχα.

5.2.2.2 Χαρακτηριστικές καμπύλες ανεμιστήρων

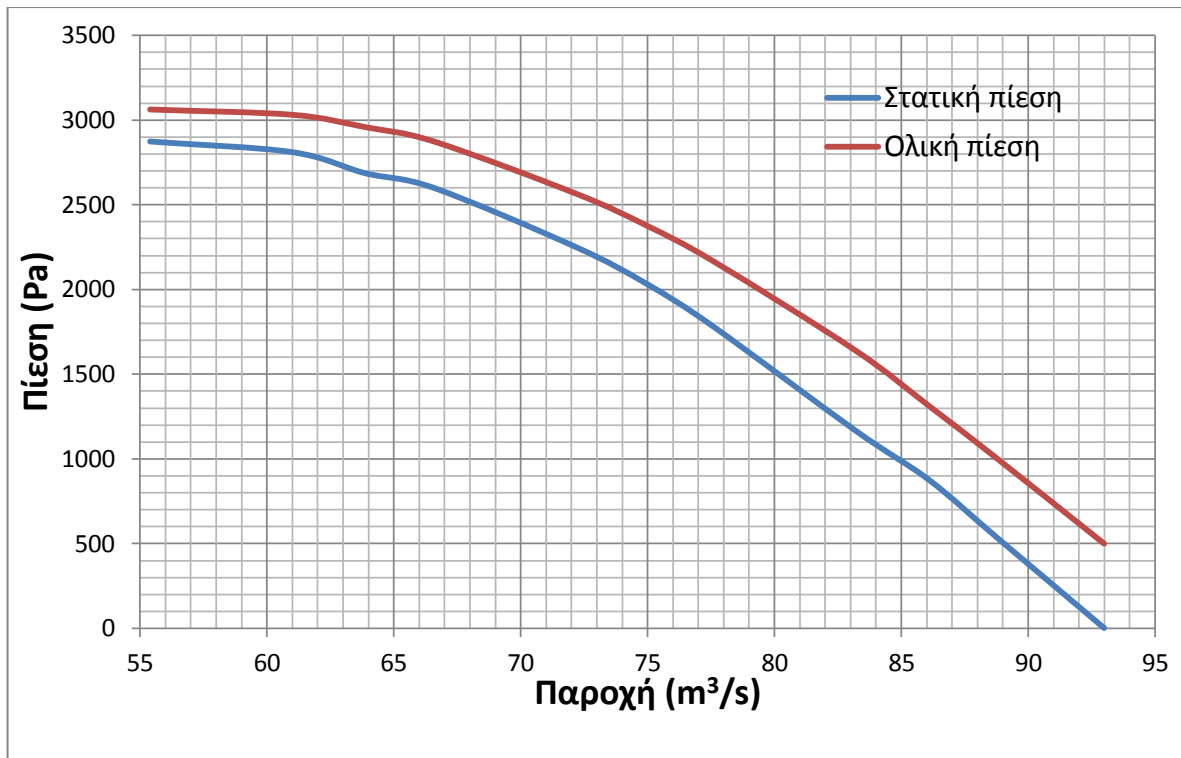
Στις εικόνες 5.9 και 5.10 παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες των ανεμιστήρων VML 1400 σε μεμονωμένη και παράλληλη λειτουργία, αντίστοιχα. Η κατασκευή του διαγράμματος 5.10 έγινε όπως περιγράφεται στο διάγραμμα 4.21.

Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι η μέγιστη παροχή για μεμονωμένη λειτουργία φτάνει τα $45 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ σε παράλληλη διάταξη παρατηρείται ότι είναι δυνατόν η μέγιστη παροχή να φτάσει στα $90 \text{ m}^3/\text{s}$.

Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι είναι προτιμότερο η περιοχή λειτουργίας των ανεμιστήρων να κυμαίνεται σε μία μέση περιοχή μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης παροχής και όχι στα άκρα με σκοπό την αποδοτικότερη και παράλληλα πιο οικονομική λειτουργία. Επίσης όπως φαίνεται από το διάγραμμα 4.16 η βέλτιστη απόδοση των ανεμιστήρων είναι κοντά στην μέση περιοχή λειτουργίας.



Εικόνα 5.9 Χαρακτηριστικές καμπύλες για έναν ανεμιστήρα VML-1400.



Εικόνα 5.10 Χαρακτηριστικές καμπύλες για δύο όμοιους ανεμιστήρες VML-1400 σε παράλληλη διάταξη.

5.3 Σημεία μέτρησης παροχής

Οι μετρήσεις αερισμού πρέπει να λαμβάνονται πάντα σε σταθερά σημεία, τα οποία καθορίζονται από τον υπεύθυνο μηχανικό ώστε να είναι δυνατή η πλήρης απεικόνιση της ροής του αέρα στο μελετούμενο δίκτυο. Έτσι, γνωρίζοντας τη διατομή στα σημεία αυτά και μετρώντας την ταχύτητα του αέρα, εύκολα μπορεί να υπολογισθεί η παροχή με το ακόλουθο τύπο:

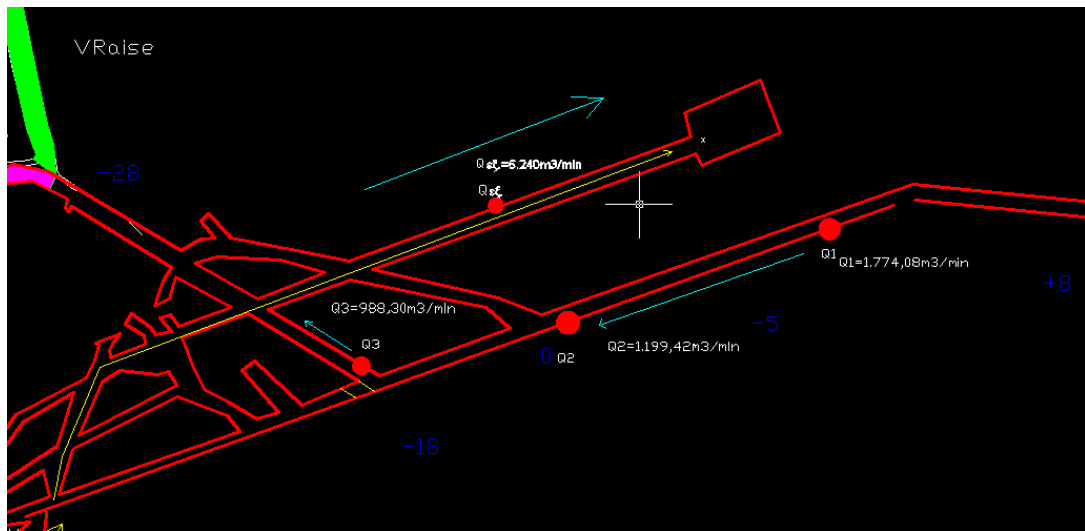
$$Q=s \cdot v \quad , \text{ όπου}$$

Q: Η ζητούμενη παροχή του αέρα (m³/s)

s: Η διατομή (m²)

v: Η ταχύτητα του αέρα (m/s)

Στην παρούσα φάση της εκμετάλλευσης του μεταλλείου Ολυμπιάδας έχουν οριστεί περί τα είκοσι σημεία μέτρησης στους κύριους αγωγούς αερισμού που καλύπτουν όλο το υφιστάμενο κύκλωμα. Στις εικόνες 5.11 και 5.12 παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποια από τα σημεία μετρήσεων με κόκκινους κύκλους.



Εικόνα 5.11 Σημεία μετρήσεων Q1,Q2,Q3,Qex.



Εικόνα 5.12 Σημεία μετρήσεων Q5,Q6,Q7,Q8.

Επιπλέον, στα σταθερά αυτά σημεία, μετρώνται εκτός της παροχής αέρα και οι συγκεντρώσεις των επιβλαβών αερίων με κατάλληλο εξοπλισμό.

Το μεταλλείο διαθέτει δύο όργανα μέτρησης παροχής αέρα, το ανεμόμετρο με μιλίσκο (Lambrecht, series 1468) και το θερμικό ανεμόμετρο (VelociCalc, model 9565) όπως παρουσιάζονται στην εικόνα 5.13.



Εικόνα 5.13 Θερμικό ανεμόμετρο (αριστερά) και ανεμόμετρο με μιλίσκο (δεξιά).

Στις εικόνες 5.14 και 5.15 παρουσιάζονται τα έντυπα των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις που έγιναν με το ανεμόμετρο με μιλίσκο και το θερμικό ανεμόμετρο, αντίστοιχα, στις 15-5-2014.

Πίνακας 5.2 Έντυπο μετρήσεων ταχύτητας του αέρα με το ανεμόμετρο με μιλίσκο.

Παρακολούθηση κυκλώματος αερισμού μεταλλείου Ολυμπιάδας (Ανοιχτή η πόρτα στο -173, Τοποθέτηση πόρτας στο -210, Τοποθέτηση πόρτας στο -27)																		
Ημερομηνία:	15/5/2014	15/5/2014	Βάρδια: A		Δ.Θ.Υ*	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	NO (ppm)	HCN (ppm)	H ₂ S (ppm)	HCL (ppm)	SO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	Ταχύτητα (m/min)	Παροχή (m ³ /min)	Παροχή (m ³ /s)
Θέση Μέτρησης	Διατομή (m ²)	V (m/s)	T _α (°C)	T _α (°C)	Πίνακας 1													
Q1	14,784	1,28	20,60	15,40	16,96	20,90	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	76,80	1.135,41	18,92
Q2	11,759	1,03	16,20	11,90	13,19	20,90	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	61,80	726,71	12,11
Q3	17,904	0,82	17,70	15,20	15,95	20,90	0,07	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,20	880,88	14,68
Q4	32,066	1,83	19,80	16,30	17,35	20,90	0,09	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	109,80	3.520,85	58,68
Q5	22,532	1,82	20,80	16,70	17,93	20,90	0,11	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	109,20	2.460,49	41,01
Q6	14,296	3,65	20,02	16,40	17,49	20,90	0,12	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	219,00	3.130,82	52,18
Q7	17,012	3,61	20,60	16,80	17,94	20,90	0,12	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	216,60	3.684,80	61,41
Q8	19,089	1,70	22,40	18,50	19,67	20,90	0,19	0,00	0,00	3,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	102,00	1.947,08	32,45
Q9	18,510	1,26	22,20	18,40	19,54	20,90	0,14	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,60	1.399,36	23,32
Q10	19,984	1,80	22,60	18,70	19,87	20,90	0,11	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	108,00	2.158,27	35,97
Q11	16,110	0,61	23,40	19,00	20,32	20,90	0,09	0,00	0,00	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,60	589,63	9,83
Q12	22,419	1,40	23,50	19,60	20,77	20,90	0,10	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,00	1.883,20	31,39
Q13	23,524	1,13	23,90	20,10	21,24	20,90	0,10	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,80	1.594,93	26,58
Q14	8,508				0,00	ΔΕΝ ΕΛΗΦΘΗΣΑΝ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ												
Q15	10,520				0,00													
Q16	8,925				0,00													
Q17	14,608	2,45	20,20	16,60	17,68	20,90	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	147,00	2.147,38	35,79
Qex	6,50	13,85	21,70	19,10	19,88	20,90	0,11	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	831,00	5.401,50	90,03
					0,00													
Είσοδος στοάς +59			21,40	18,00	19,02													
Ανατολικό Μέτωπο	25,00	1,60	22,40	18,20	19,46	20,90	0,09	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	2.400,00	40,00
Είσοδος στοάς +71	25,00	1,20	19,00	15,00	16,20	20,90	0,09	0,00	0,00	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,00	1.800,00	30,00
Στοά -248	20,00	0,82	20,40	16,70	17,81	20,90	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,20	984,00	16,40

Πίνακας 5.3 Έντυπο μετρήσεων ταχύτητας του αέρα με το θερμικό ανεμόμετρο.

Παρακολούθηση κυκλώματος αερισμού μεταλλείου Ολυμπιάδας (Ανοιχτή η πόρτα στο -173, Τοποθέτηση πόρτας στο -210, Τοποθέτηση πόρτας στο -27)																		
Ημερομηνία:	16/6/2014	16/6/2014	Βάρδια: A		Δ.Θ.Υ*	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	NO (ppm)	HCN (ppm)	H ₂ S (ppm)	HCL (ppm)	SO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	Ταχύτητα (m/min)	Παροχή (m ³ /min)	Παροχή (m ³ /s)
Θέση Μέτρησης	Διατομή (m ²)	V (m/s)	T _α (°C)	T _δ (°C)	Πίνακας 1													
Q1	14,784	1,14	20,60	15,40	16,96	20,90	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,40	1.011,23	16,85
Q2	11,759	1,02	16,20	11,90	13,19	20,90	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	61,20	719,65	11,99
Q3	17,904	0,91	17,70	15,20	15,95	20,90	0,07	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,60	977,56	16,29
Q4	32,066	1,38	19,80	16,30	17,35	20,90	0,09	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	82,80	2.655,06	44,25
Q5	22,532	1,62	20,80	16,70	17,93	20,90	0,11	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	97,20	2.190,11	36,50
Q6	14,296	3,60	20,02	16,40	17,49	20,90	0,12	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	216,00	3.087,94	51,47
Q7	17,012	3,56	20,60	16,80	17,94	20,90	0,12	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	213,60	3.633,76	60,56
Q8	19,089	1,66	22,40	18,50	19,67	20,90	0,19	0,00	0,00	3,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,60	1.901,26	31,69
Q9	18,510	1,26	22,20	18,40	19,54	20,90	0,14	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,60	1.399,36	23,32
Q10	19,984	1,66	22,60	18,70	19,87	20,90	0,11	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,60	1.990,41	33,17
Q11	16,110	0,52	23,40	19,00	20,32	20,90	0,09	0,00	0,00	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,20	502,63	8,38
Q12	22,419	1,33	23,50	19,60	20,77	20,90	0,10	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,80	1.789,04	29,82
Q13	23,524	1,26	23,90	20,10	21,24	20,90	0,10	0,00	0,00	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,60	1.778,41	29,64
Q14	8,508				0,00	ΔΕΝ ΕΛΗΦΘΗΣΑΝ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ												
Q15	10,520				0,00													
Q16	8,925				0,00													
Q17	14,608	2,15	20,20	16,60	17,68	20,90	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	129,00	1.884,43	31,41
Qex	6,50	15,80	21,70	19,10	19,88	20,90	0,11	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	948,00	6.162,00	102,70
					0,00													
Είσοδος στοάς +59			21,40	18,00	19,02													
Ανατολικό Μέτωπο	25,00	1,60	22,40	18,20	19,46	20,90	0,09	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,00	2.400,00	40,00
Είσοδος στοάς +71	25,00	1,06	19,00	15,00	16,20	20,90	0,09	0,00	0,00	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	63,60	1.590,00	26,50
Στοά -248	20,00	0,66	20,40	16,70	17,81	20,90	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,60	792,00	13,20

Στον πίνακα 5.4 παρουσιάζεται ο υπολογισμένος μέσος όρος των αποτελεσμάτων των δύο αυτών μετρήσεων.

Πίνακας 5.4 Σύγκριση μετρήσεων παροχών από τα δύο όργανα μέτρησης στις 15-5-2014.

	Ανεμόμετρο με μυλίσκο	Θερμικό ανεμόμετρο	Μέσος όρος	
Σημεία μέτρησης	Παροχή (m ³ /min)		Παροχή (m ³ /min)	Παροχή (m ³ /s)
Q1	1,135.41	1,011.23	1,073.32	17.89
Q2	726.71	719.65	723.18	12.05
Q3	880.88	977.56	929.22	15.49
Q4	3,520.85	2,655.06	3,087.96	51.47
Q5	2,460.49	2,190.11	2,325.30	38.76
Q6	3,130.82	3,087.94	3,109.38	51.82
Q7	3,684.80	3,633.76	3,659.28	60.99
Q8	1,947.08	1,901.26	1,924.17	32.07
Q9	1,399.36	1,399.36	1,399.36	23.32
Q10	2,158.27	1,990.41	2,074.34	34.57
Q11	589.63	502.63	546.13	9.10
Q12	1,883.20	1,789.04	1,836.12	30.60
Q13	1,594.93	1,778.41	1,686.67	28.11
Q14	ΔΕΝ ΕΛΗΦΘΗΣΑΝ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ			
Q15				
Q16				
Q17	2,147.38	1,884.43	2,015.90	33.60
Qex	5,401.50	6,162.00	5,781.75	96.36
			0.00	0.00
Είσοδος στοάς +59	0.00	0.00	0.00	0.00
Ανατολικό Μέτωπο	2,400.00	2,400.00	2,400.00	40.00
Είσοδος στοάς +71	1,800.00	1,590.00	1,695.00	28.25
Στοά -248	984.00	792.00	888.00	14.80

5.4 Απαιτήσεις αερισμού

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών, ο όγκος του καθαρού αέρα σ' όλες τις θέσεις εργασίας, πρέπει να είναι το λιγότερο, 5.66 m³ για κάθε πρώτο λεπτό και εργαζόμενο και 2.3 m³ για κάθε πρώτο λεπτό και ίππο μηχανών εσωτερικής καύσης, ανεξάρτητα από τον ετεροχρονισμό στη λειτουργία των μηχανημάτων. Επομένως για παράδειγμα, αν σε ένα μεταλλείο λειτουργούν δύο διατηρητικά μηχανήματα 150 hp, δύο

φορτωτές 186 hp και είκοσι εργαζόμενοι τότε οι απαιτήσεις αέρα υπολογίζονται σύμφωνα με τον πίνακα 5.5:

Πίνακας 5.5 Υπολογισμός ενδεικτικών απαιτήσεων αερισμού για εξοπλισμό και προσωπικό.

Περιγραφή	Αριθμός	Απαιτήσεις αέρα (m ³ /min)	Απαιτήσεις αέρα (m ³ /s)
Διατρητικό Jumbo (150 hp)	2	2 x 150 x 2.3=690	11.5
Φορτωτής (186 hp)	2	2 x 186 x 2.3= 856	14.3
Εργαζόμενοι	20	20 x 5.66=113.2	1.9
Σύνολο		1662	27.7

Στην παρούσα κατάσταση εργάζονται δύο συνεργεία. Ένα στην “άνω ανατολική ράμπα” και ένα στην “κάτω δυτική ράμπα”. Το κάθε συνεργείο διαθέτει το δικό του εξοπλισμό και τον απαιτούμενο αριθμό προσωπικού, ώστε να μπορεί να λειτουργεί χωρίς προβλήματα.

Έτσι λοιπόν οι απαιτήσεις αέρα υπολογίζονται στον πίνακα 5.6 σύμφωνα πάντα με τον Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών.

Ο υπολογισμός των απαιτήσεων σε αέρα στον πίνακα 5.6 έγινε χωρίς να περιλαμβάνεται ο εξοπλισμός και το προσωπικό γόμωσης, σκυροδέτησης και τοποθέτησης αγκυρίων καθώς επίσης και ο εξοπλισμός ο οποίος διατίθεται περιστασιακά ανάλογα με τις βοηθητικές εργασίες που εκτελούνται, όπως εγκατάσταση αγωγών, δικτύων, κλπ.

Πίνακας 5.6 Ενδεικτικός πίνακας υπολογισμού απαιτήσεων αέρα για την παρούσα κατάσταση του μεταλλείου Ολυμπιάδας, για εξοπλισμό και προσωπικό.

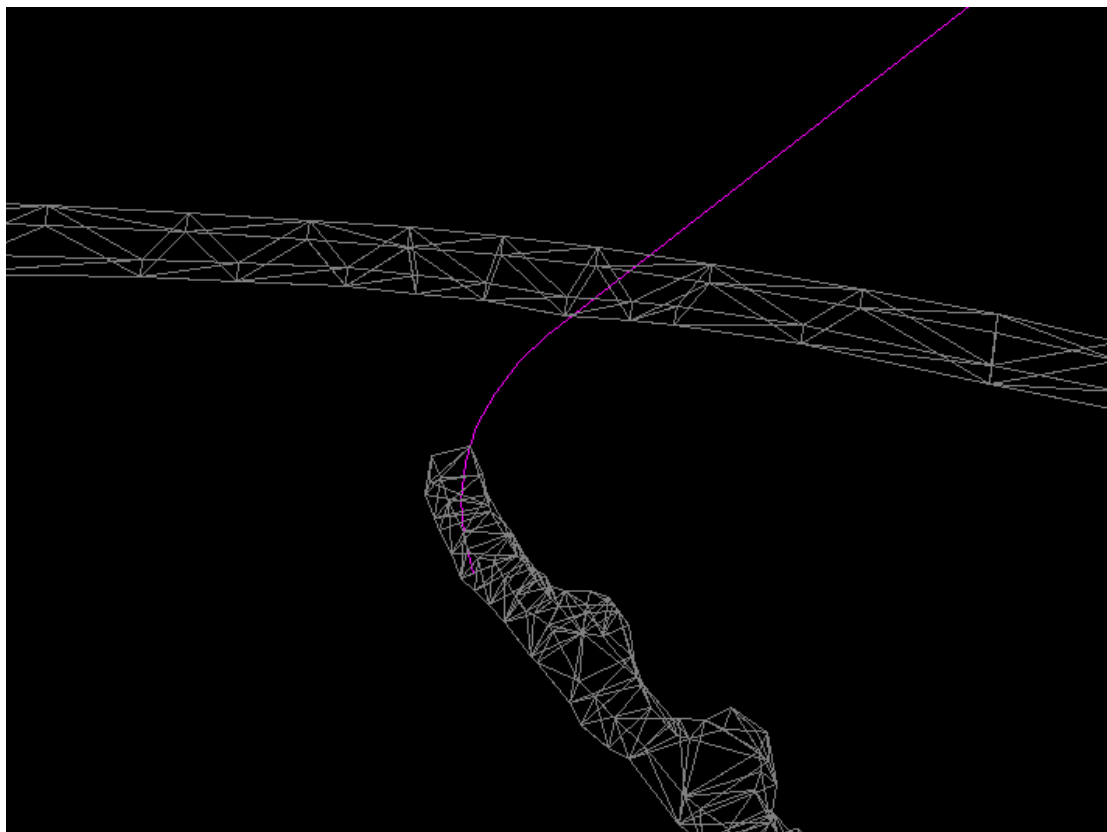
Περιγραφή	Αριθμός	Χειριστές	Απαιτήσεις αέρα (m ³ /min)	Απαιτήσεις αέρα (m ³ /s)
Διατρητικό Jumbo (150hp)	1	2	2 x 150 x 2.3 + 2 x 5.66=356	5.9
Φορτωτής υπογείων	1	1	1x525 x 2.3 + 1 x 5.66=1773	29.5

(525hp)				
Φορτηγά υπογείων (250hp)	2	2	$2 \times 250 \times 2.3 + 2 \times 5.66 = 1151$	19
Μηχάνημα κοχλίωσης (60hp)	1	2	$60 \times 2.3 + 2 \times 5.66 = 150$	2.5
Σύνολο			3430	57

5.5 Μοντελοποίηση της παρούσας κατάστασης

5.5.1 Προσαρμογή σχεδίου εκμετάλλευσης για την μελέτη του αερισμού του μεταλλείου

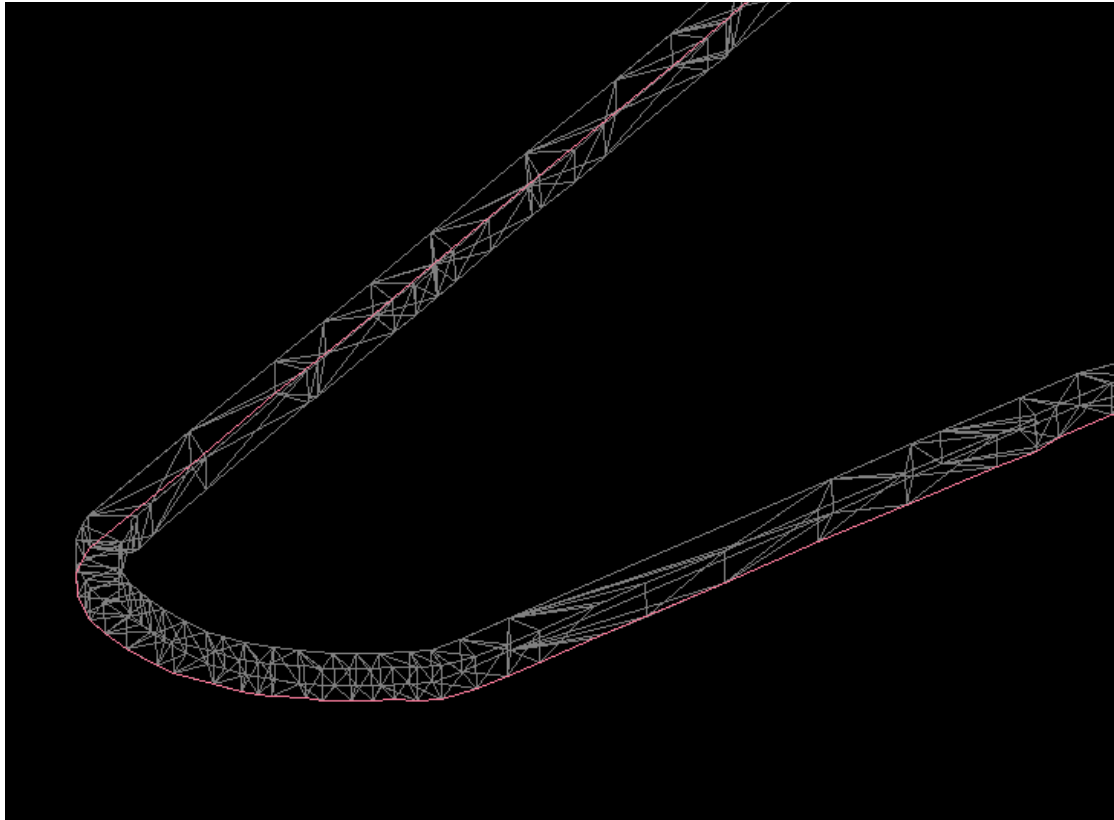
Τα υφιστάμενα έργα δόθηκαν με την μορφή τρισδιάστατου μοντέλου (wireframe). Μια λεπτομέρεια για την περιοχή της στοάς +71 δίνεται στην εικόνα 5.14. Στην ίδια εικόνα φαίνεται η επέκταση κάποιων ανοιγμάτων ως γραμμική απεικόνιση.



Εικόνα 5.14 Μορφή τρισδιάστατου μοντέλου (wireframe).

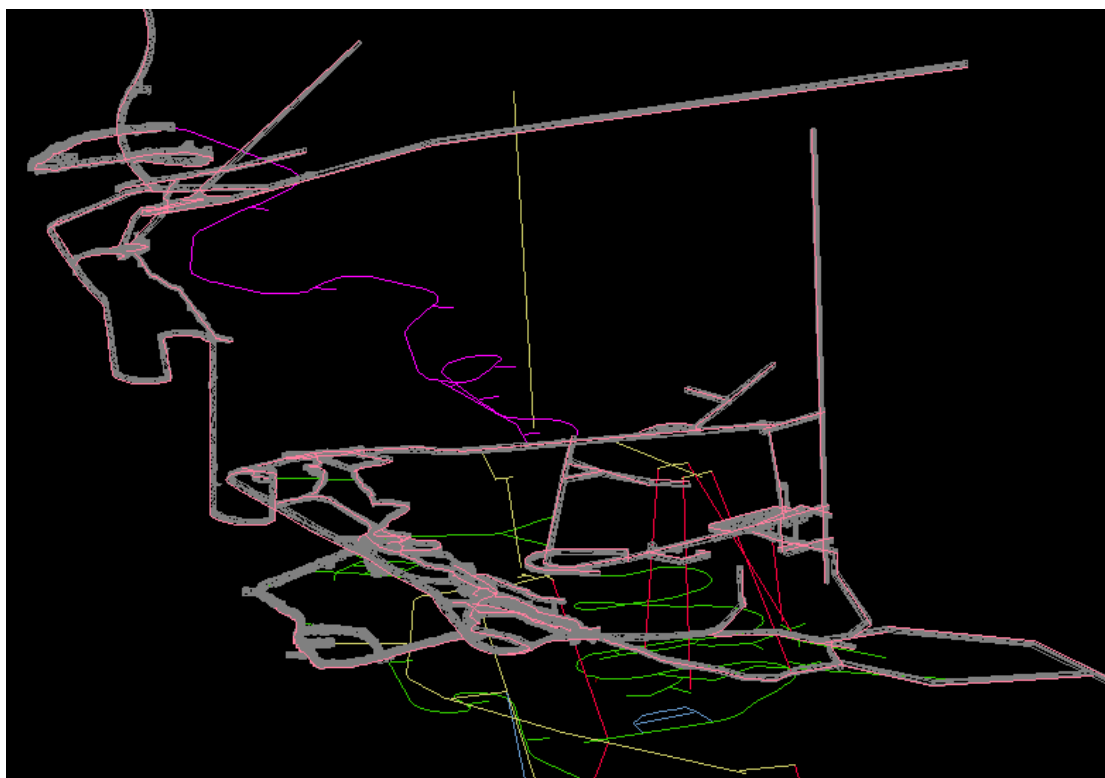
Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας έπρεπε να μετατραπούν όλα τα ανοίγματα μορφής wireframe σε γραμμικούς αγωγούς.

Μια ενδεικτική εικόνα των δύο απεικονίσεων των έργων του μεταλλείου είναι η 5.15. Η μετατροπή έγινε σχεδιάζοντας τους γραμμικούς αγωγούς με τη βοήθεια της εντολής (3D polyline) του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCad. Η μετατροπή αυτή ήταν επίπονη καθώς έπρεπε να γίνει στον τρισδιάστατο χώρο. Το αποτέλεσμα της προσπάθειας αυτής είναι ότι έτσι υπολογίζεται άμεσα το μήκος του κάθε αγωγού στον τρισδιάστατο χώρο.



Εικόνα 5.15 Συνδιαστική απεικόνιση αγωγών σε wireframe και γραμμική μορφή.

Το γενικό πλάνο του μεταλλείου μετά την παραπάνω απλοποίηση φαίνεται στην εικόνα 5.16.



Εικόνα 5.16 Τελική διαμόρφωση αγωγών μετά την απλοποίηση από wireframe σε γραμμική μορφή.

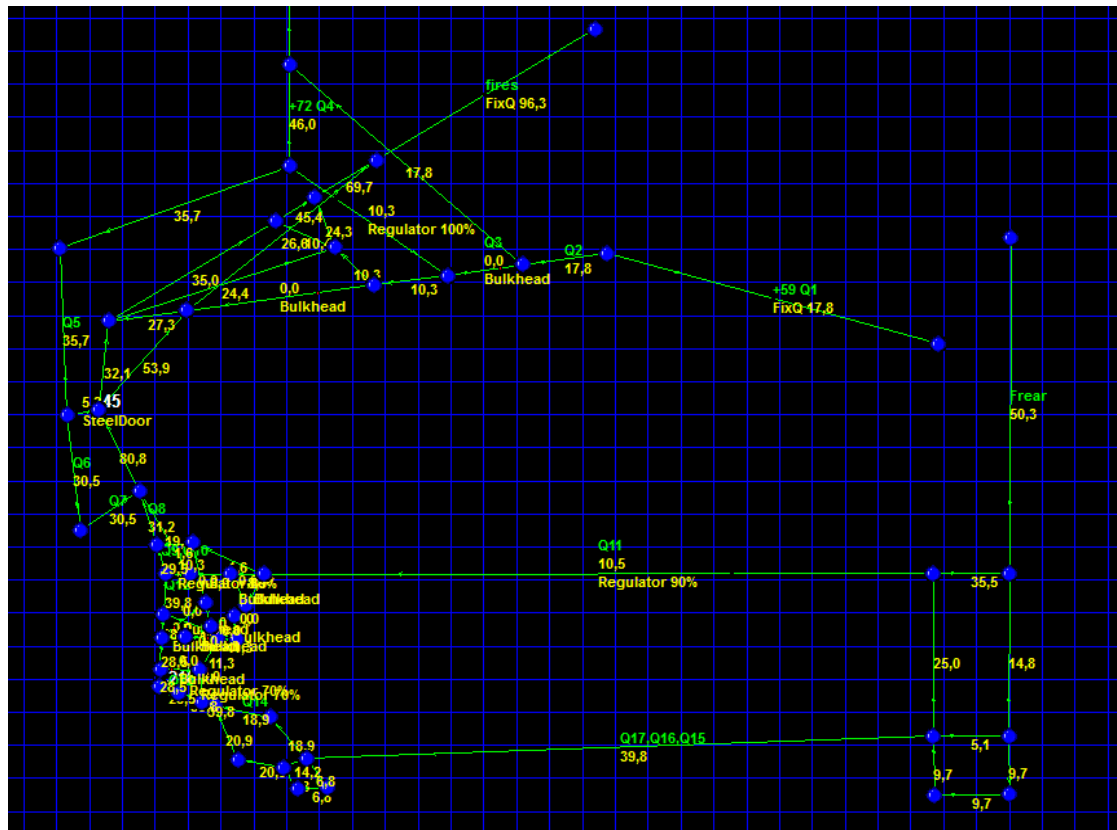
Μετά την απλοποίηση των έργων σε γραμμικά μεγέθη, μετρήθηκαν τα μήκη των υπόγειων ανοιγμάτων με τη βοήθεια του προγράμματος AutoCAD, από το τρισδιάστατο μοντέλο της παρούσας κατάστασης του μεταλλείου Ολυμπιάδας. Έχοντας λοιπόν γνωστά όλα τα μήκη των υπόγειων ανοιγμάτων, έγινε μία δισδιάστατη απεικόνιση των αγωγών του μεταλλείου με απλές γραμμές στο πρόγραμμα Ventsim όπως φαίνεται στην εικόνα 5.17. Ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά του προγράμματος VentSim παρουσιάζονται στην ενότητα 5.5.2.

5.5.2 VentSim

Το λογισμικό VentSim χρησιμοποιείται για την επίλυση δικτύων αερισμού με εύκολο και απλό τρόπο. Το πρόγραμμα αυτό τρέχει σε περιβάλλον windows XP/WIN7/WIN8 και η βοήθεια του στη μελέτη των μεταλλευτικών δικτύων αερισμού είναι πράγματι πάρα πολύ μεγάλη. Συγκεκριμένα με το VentSim μπορεί κανείς εύκολα να πετύχει τα εξής (VentSim, 2008):

- Να υπολογίζει παροχές αέρα και πτώσεις πίεσης σε όλους τους κλάδους αερισμού ενός μεταλλείου.
- Να εκτελεί παραμετρικά σενάρια για νέα σχεδιαζόμενα τμήματα του μεταλλείου.

- Να βοηθήσει στην βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη διαχείριση των αναγκών αερισμού.



Εικόνα 5.17 Δισδιάστατη απεικόνιση μεταλλείου Ολυμπιάδας στο πρόγραμμα VentSim.

- Να βοηθήσει στην επιλογή του τύπου ανεμιστήρα του κυκλώματος για τον αερισμό του μεταλλείου.
- Να βοηθήσει στην οικονομική ανάλυση των επιλογών αερισμού.
- Να προσομοιώνει καταστάσεις κινδύνου (π.χ. φωτιάς) σε κάποιο σημείο ενός αγωγού με αποτέλεσμα τη γρήγορη εξαγωγή συμπερασμάτων για το τι πρέπει να γίνει προκειμένου να αποφευχθεί ο κίνδυνος.

Όλα τα παραπάνω βοηθούν τον μηχανικό αερισμού να εκπονήσει μια μελέτη αερισμού με όσο το δυνατόν πιο έγκυρο και οικονομικό τρόπο.

Εκτός από τα μήκη των αγωγών που προαναφέρθηκαν, για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση, απαιτείται η εισαγωγή επιπλέον παραμέτρων όπως είναι η διατομή των υπόγειων ανοιγμάτων, ο εμπειρικός ειδικός συντελεστής τριβής K (kg/m^3) που εξαρτάται από την κατάσταση των τοιχωμάτων καθώς επίσης και το ισοδύναμο μήκος Le (m) που είναι ανάλογο με την απώλεια πίεσης που δημιουργείται λόγω κρούσεων.

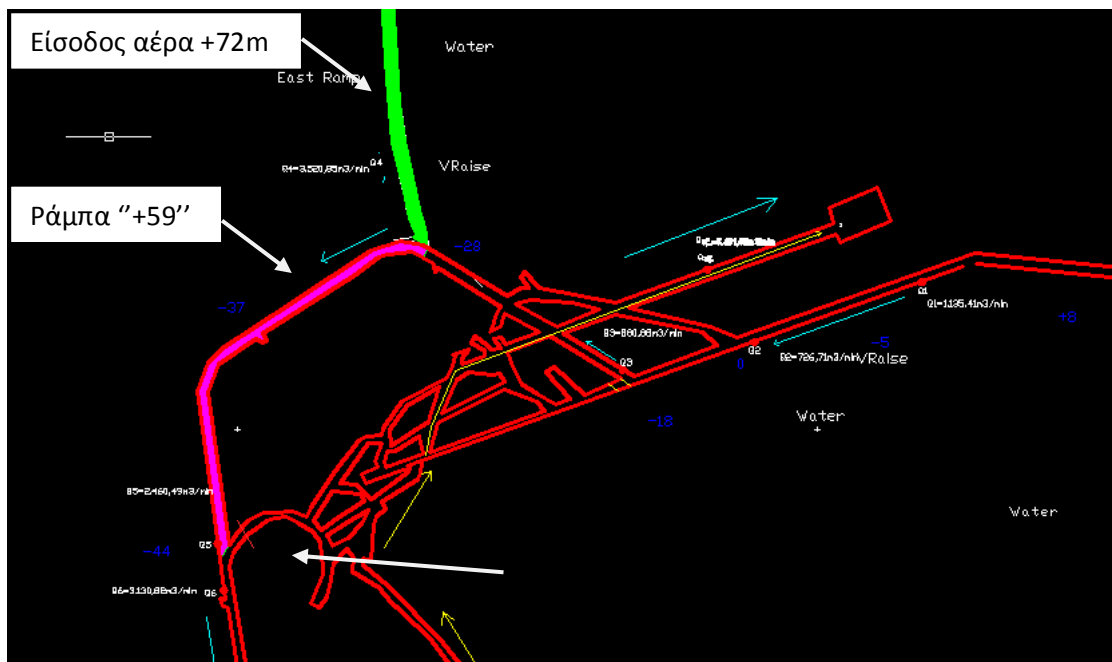
5.6 Μελέτη προσομοίωσης

5.6.1 Απεικόνιση του προσομοιώματος

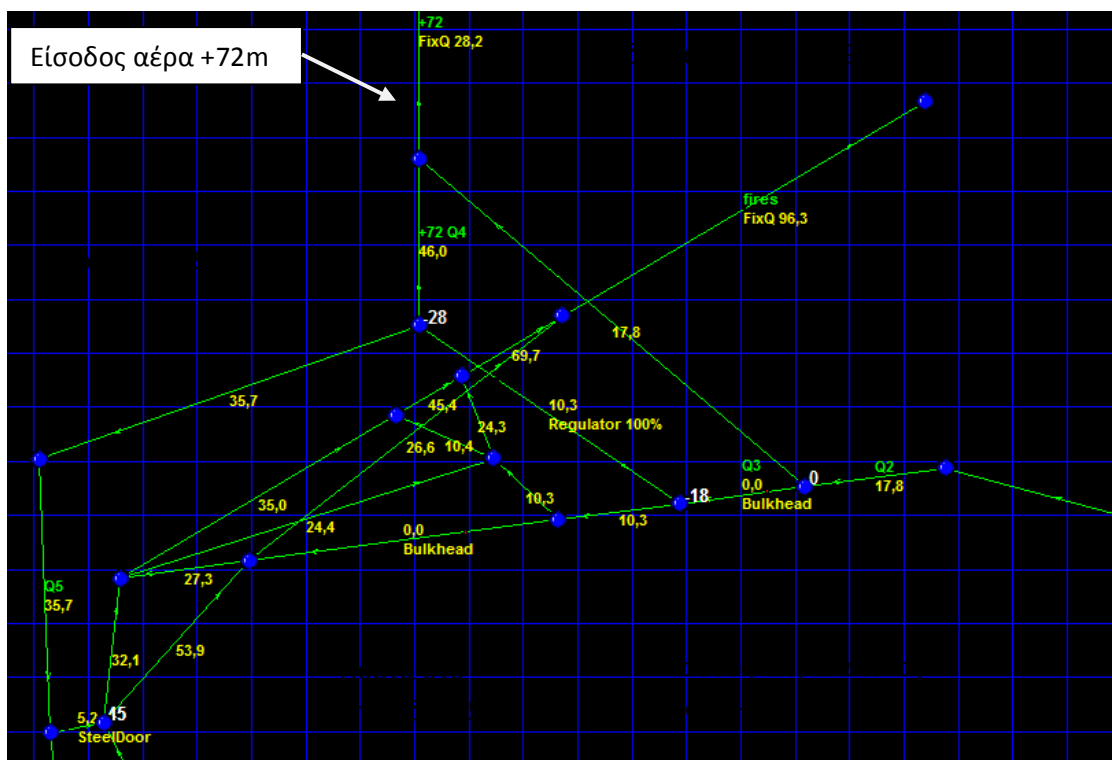
Για να γίνει η μελέτη προσομοίωσης, κατασκευάστηκε ένα ισοδύναμο προσομοίωμα του υφιστάμενου δικτύου όπου κάθε στοά ή άνοιγμα αντιπροσωπεύεται από έναν αγωγό αερισμού. Στην εικόνα 5.18 φαίνεται σε κάτοψη ένα απλοποιημένο κύκλωμα των υφιστάμενων έργων. Είναι προφανές ότι δεν φαίνεται το φρέαρ καθώς είναι κάθετο στο απεικονιζόμενο επίπεδο. Στην εικόνα 5.19 φαίνεται σε τομή το προσομοίωμα του δικτύου αερισμού όπως αυτό οριστικοποιήθηκε μετά από τις απλοποιήσεις του κυκλώματος.



Εικόνα 5.18 Απεικόνιση μεταλλείου στο πρόγραμμα AutoCAD (κάτοψη).



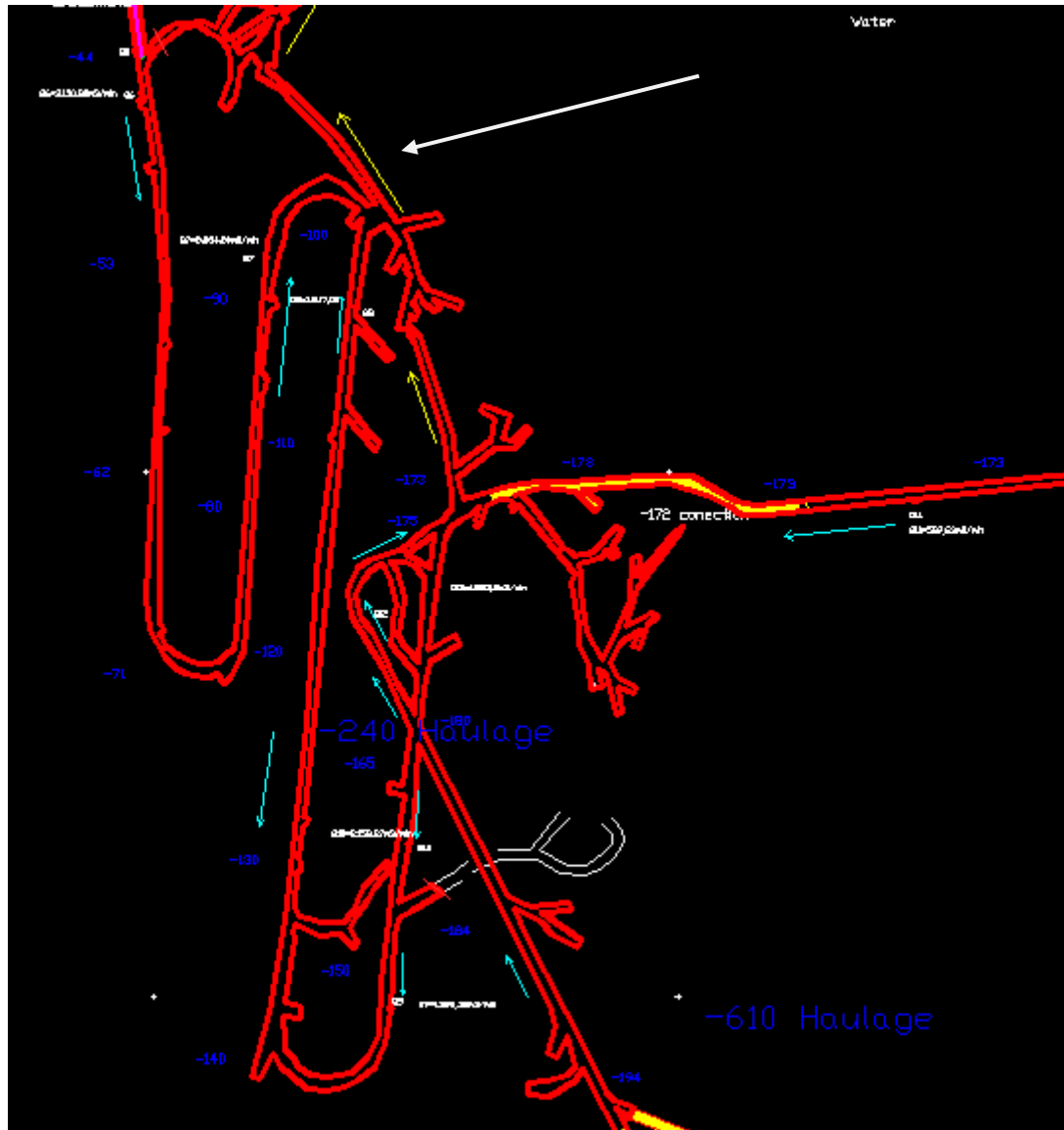
Εικόνα 5.20 Απεικόνιση τμήματος μεταλλείου στο πρόγραμμα AutoCAD.



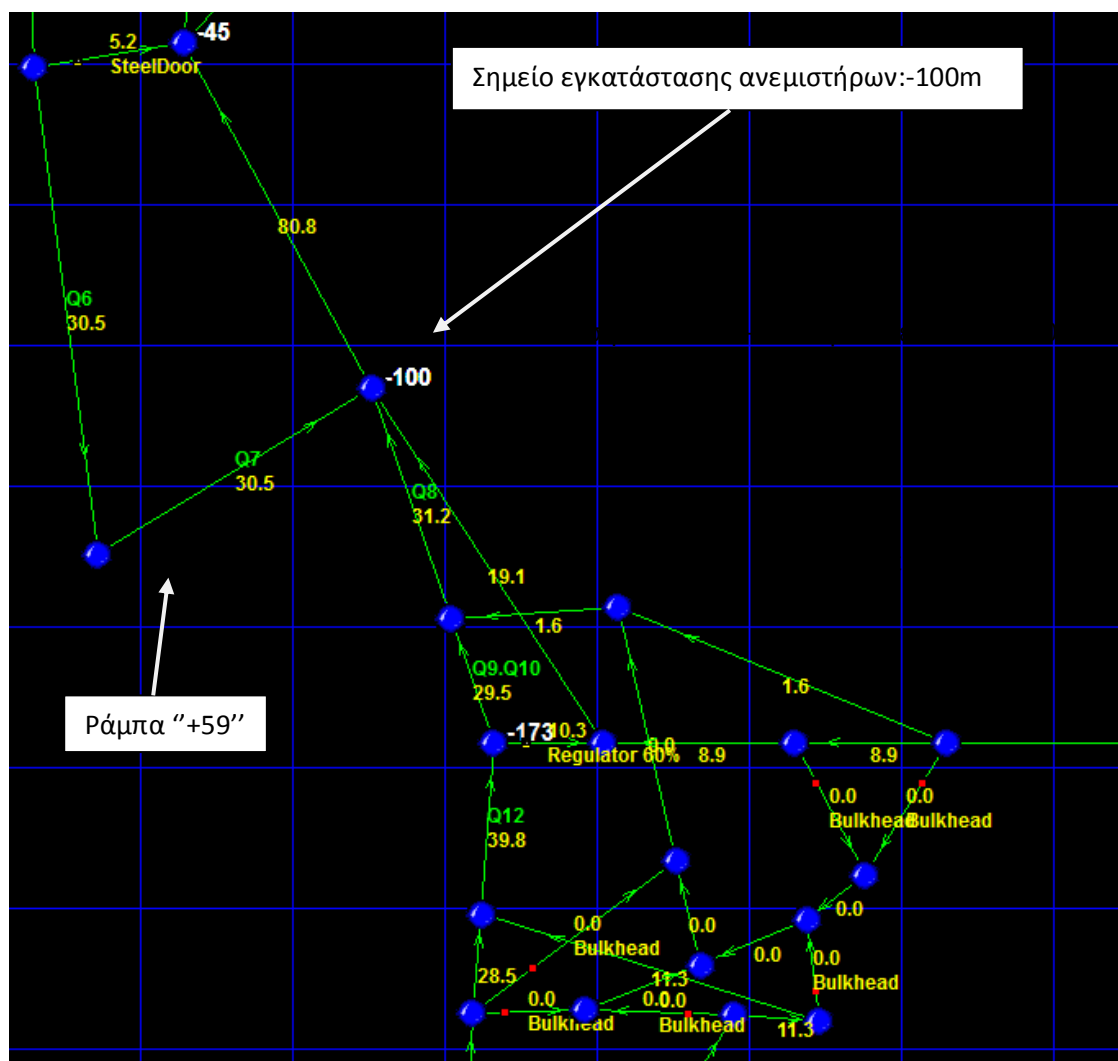
Εικόνα 5.21 Ισοδύναμη απεικόνιση της εικόνας 5.22 στο πρόγραμμα VentSim.

Η συνέχεια της ράμπας +59 και το τμήμα που ενώνει τα επίπεδα -100m και -173m περιγράφονται στις εικόνες 5.22 και 5.23. Στο σημείο που είναι εγκατεστημένοι οι ανεμιστήρες καταλήγει ο αέρας που κυκλοφορεί μέσω της ράμπας "+59", του επιπέδου -173m και του επιπέδου -210m. Με

τη βοήθεια λυπών των ανεμιστήρων ο αέρας αυτός καταλήγει στην έξοδο του μεταλλείου “φιδές +90m”.

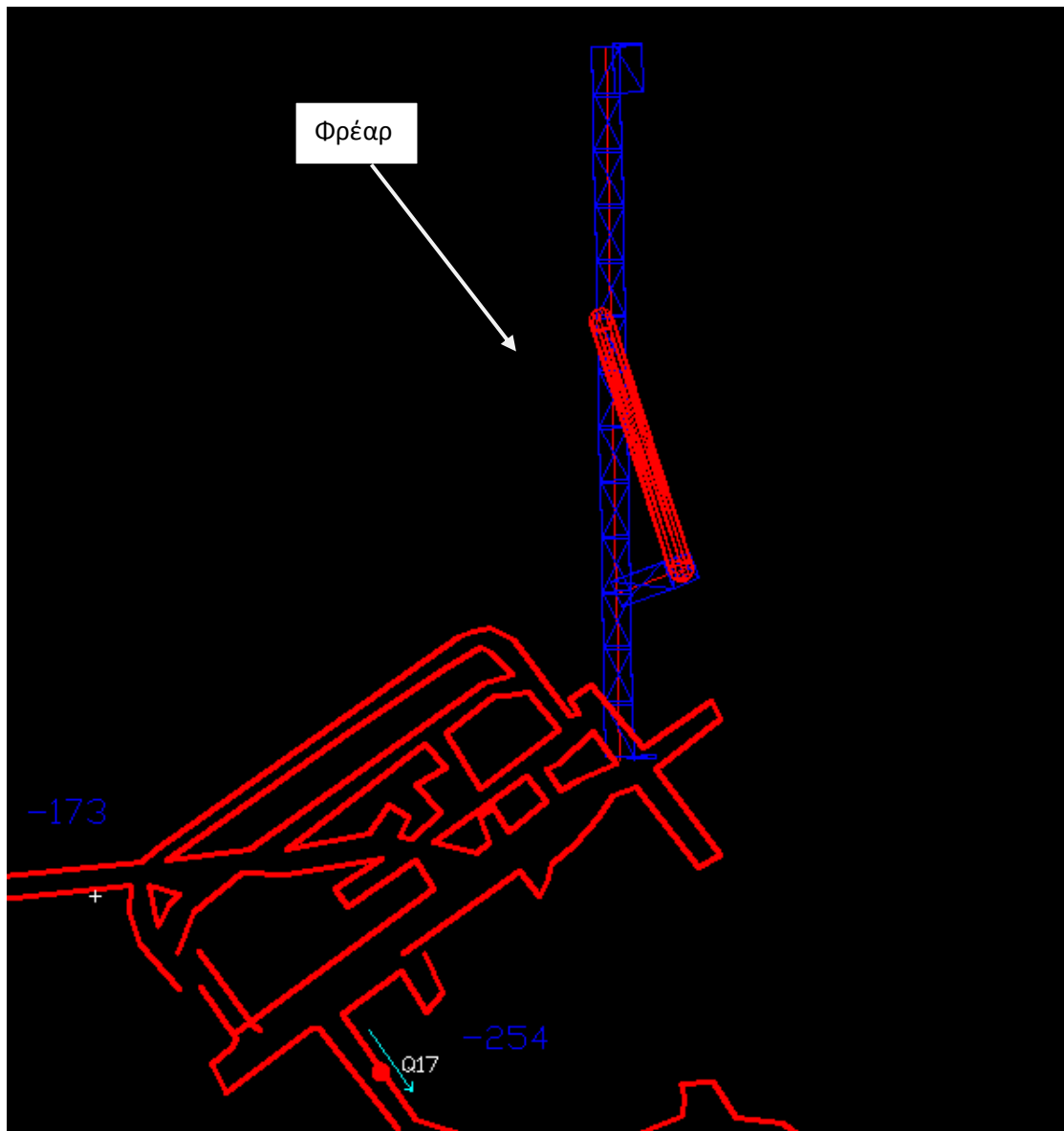


Εικόνα 5.22 Απεικόνιση τμήματος μεταλλείου στο πρόγραμμα AutoCAD.

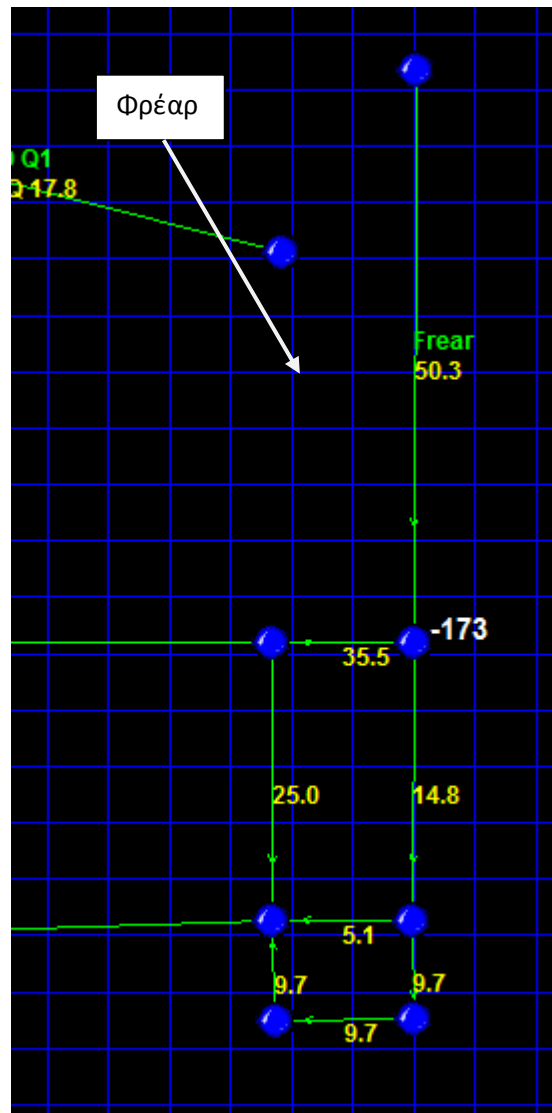


Εικόνα 5.23 Ισοδύναμη απεικόνιση της εικόνας 5.24 στο πρόγραμμα VentSim.

Το φρέαρ, το οποίο απεικονίζεται στις εικόνες 5.24 και 5.25, αποτελεί την μία από τις τρεις εισόδους αέρα που επικοινωνούν με την επιφάνεια. Ο αέρας εισερχόμενος από εκεί κινείται από τα επίπεδα -210m και -173m , ανάλογα με το αν η πόρτα που είναι τοποθετημένη στα επίπεδα -173m είναι κλειστή ή όχι αντίστοιχα.

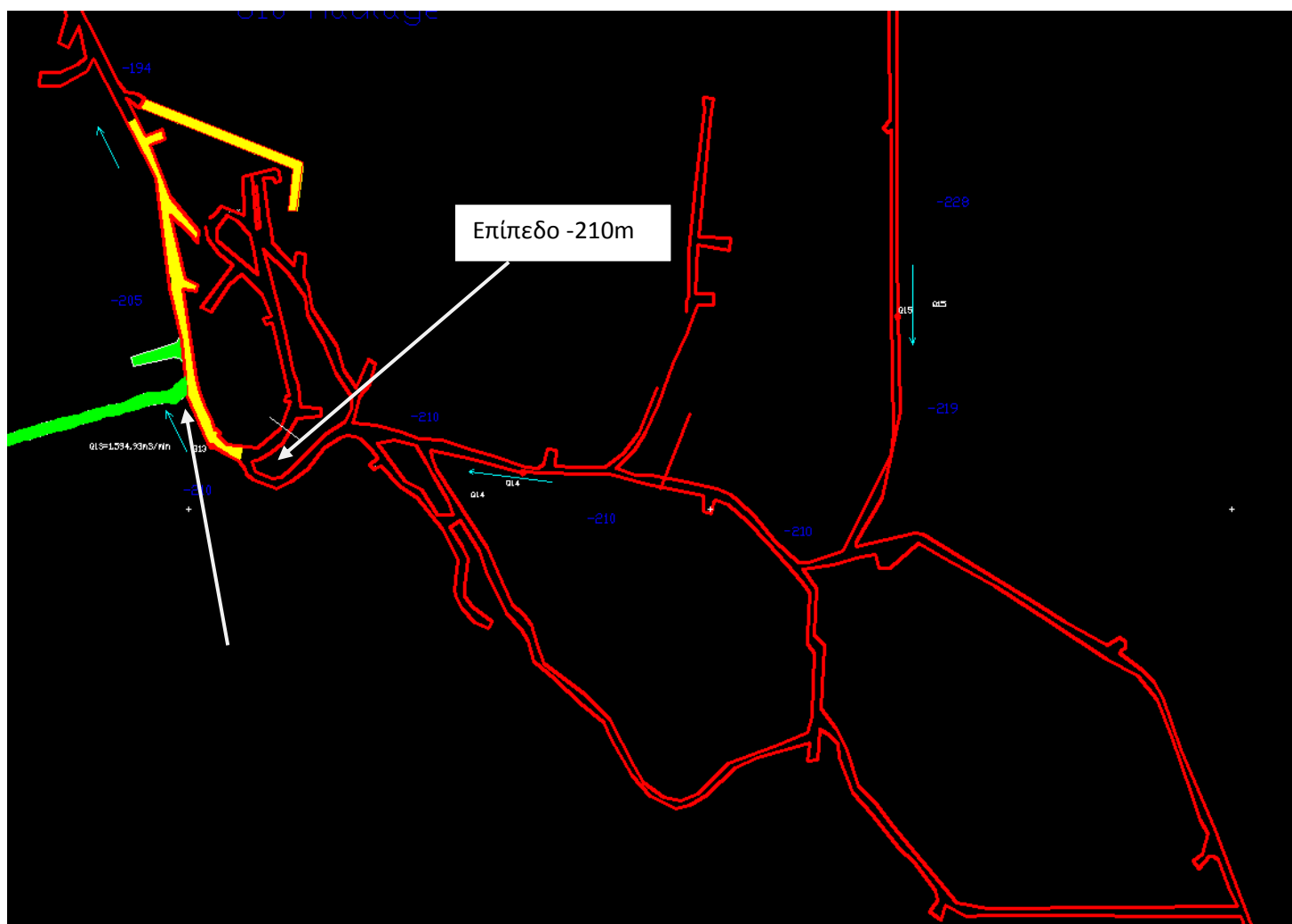


Εικόνα 5.24 Απεικόνιση τμήματος μεταλλείου στο πρόγραμμα AutoCAD.

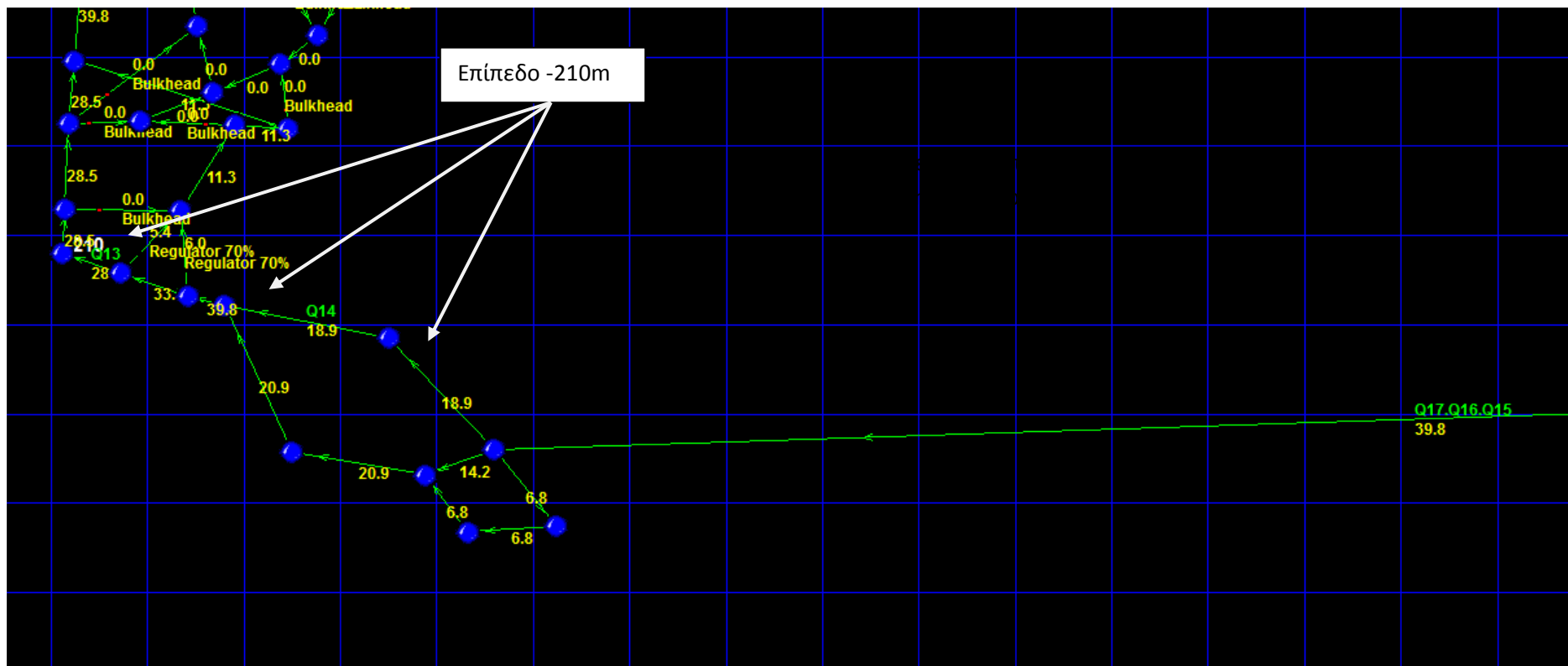


Εικόνα 5.25 Ισοδύναμη απεικόνιση της εικόνας 5.26 στο πρόγραμμα VentSim.

Στις εικόνες 5.26 και 5.27 που ακολουθούν απεικονίζεται το επίπεδο -210m καθώς επίσης και το σημείο όπου ξεκινάει το άνοιγμα της “κάτω δυτικής ράμπας” Όπως προαναφέρθηκε όταν η πόρτα που υπάρχει στο επίπεδο -173m είναι κλειστή, ο αέρας που εισέρχεται από το φρέαρ διέρχεται από το επίπεδο -210m μέσω της στοάς που ενώνει τα δύο αυτά επίπεδα.



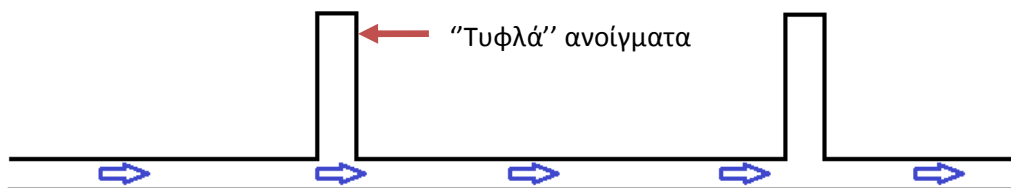
Εικόνα 5.26 Απεικόνιση τμήματος μεταλλείου στο πρόγραμμα AutoCAD.



Εικόνα 5.27 Ισοδύναμη απεικόνιση της εικόνας 5.28 στο πρόγραμμα VentSim.

5.6.2 Τυφλά ανοίγματα

Το μεταλλείο Ολυμπιάδας αντιπροσωπεύεται από ένα μοντέλο αερισμού υπό μορφή αγωγών. Οι αγωγοί που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα VentSim αντιπροσωπεύουν τους κύριους αγωγούς διέλευσης του αέρα καθώς αγωγοί με τυφλά ανοίγματα στους οποίους δεν εκτελούνται εργασίες δεν συμπεριλαμβάνονται, διότι δεν επηρεάζουν τη ροή του αέρα. Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στις εικόνες 5.28 και 5.29.



Εικόνα 5.28 Ροή αέρα σε τμήματα με "τυφλά" ανοίγματα.



Εικόνα 5.29 Απεικόνιση αγωγού εικόνας 5.18 στο πρόγραμμα VentSim.

5.6.3 Βαθμονόμηση του προσομοιώματος

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ανάλογα με τις συνθήκες αερισμού ενός κλάδου (μικρή παροχή, μεγάλη παροχή, μικρή διατομή, μεγάλη διατομή κλπ.) επιλέγεται και το αντίστοιχο όργανο μέτρησης ταχύτητας του αέρα. Στην παρούσα μελέτη ήταν διαθέσιμες μετρήσεις με δύο διαφορετικά όργανα μέτρησης ταχύτητας αέρα, τα οποία προβλέπεται να χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές συνθήκες. Καθώς δεν ήταν δυνατόν να γίνει διάκριση μεταξύ των δύο μετρούμενων ποσοτήτων, για τη βαθμονόμηση χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των τιμών από τα δύο αυτά όργανα μέτρησης της ταχύτητας του αέρα, όπως υπολογίστηκε στον πίνακα 5.4. Έτσι αφού οριστούν οι είσοδοι και έξοδοι του αέρα και εισαχθούν στο πρόγραμμα οι αντίστοιχες τιμές αυτών, γίνεται μία πρώτη βαθμονόμηση του μοντέλου και λαμβάνονται οι πρώτες πληροφορίες για τους υπόλοιπους αγωγούς.

συντελεστή τριβής K με σκοπό την αύξηση της αντίστασης των τμημάτων αυτών.

Πίνακας 5.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ μετρούμενων και υπολογιζόμενων παροχών.

	Μέσος όρος μετρήσεων	Αποτελέσματα Μοντέλου	
Σημεία Μέτρησης	Παροχή (m ³ /s)	Παροχή (m ³ /s)	Απόκλιση ΔQ %
Q1	17.89	17.80	-0.50
Q2	12.05	17.80	47.68
Q3	15.49	17.80	14.94
Q4	51.47	46.00	-10.62
Q5	38.76	35.70	-7.88
Q6	51.82	30.50	-41.15
Q7	60.99	30.50	-49.99
Q8	32.07	30.70	-4.27
Q9	23.32	29.50	26.49
Q10	34.57	29.50	-14.67
Q11	9.10	10.50	15.36
Q12	30.60	39.80	30.06
Q13	28.11	28.50	1.38
Q14	ΔΕΝ ΕΛΗΦΘΗΣΑΝ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ		
Q15			
Q16			
Q17	33.60	39.80	18.46
Qex	96.36	96.30	-0.06

Η απόκλιση ΔQ% προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$\Delta Q\% = \frac{\text{Αποτελέσματα παροχών μοντέλου} - \text{Μέσος όρος μετρήσεων πραγματικών παροχών}}{\text{Μέσος όρος μετρήσεων πραγματικών παροχών}} * 100$$

Με μέγιστη απόκλιση μετρήσεων των δύο οργάνων, περίπου 20%, προκύπτει ότι το προσομοίωμα που κατασκευάστηκε είναι αρκετά κοντά στα πραγματικά δεδομένα του μεταλλείου.

Στα σημεία μέτρησης Q2, Q6, Q7 η απόκλιση λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές. Το γεγονός αυτό είναι ενδεικτικό ότι το κύκλωμα αερισμού δεν λειτουργεί βέλτιστα.

Q6	51.82	46.40	-10.46
Q7	60.99	46.40	-23.92
Q8	32.07	34.60	7.89
Q9	23.32	25.40	8.91
Q10	34.57	25.40	-26.53
Q11	9.10	8.10	-11.01
Q12	30.60	30.40	-0.66
Q13	28.11	28.20	0.32
Q14	ΔΕΝ ΕΛΗΦΘΗΣΑΝ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ		
Q15			
Q16			
Q17	33.60	30.30	-9.82
Qex	96.36	84.50	-12.31

Στην δεύτερη περίπτωση η μόνη τιμή που παρουσιάζει ιδιαίτερη ανωμαλία είναι αυτή στη θέση Q2 καθώς η απόκλιση φτάνει περίπου το 50%.

5.7 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Αφού κατασκευάστηκε το μοντέλο αερισμού, όπως έχει προαναφερθεί, ακολούθησε η βαθμονόμηση του. Σκοπός της βαθμονόμησης είναι η δημιουργία ενός μοντέλου της παρούσας κατάστασης που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν “οδηγός” για μελλοντικές αλλαγές στο μεταλλείο Ολυμπιάδας. Οι αλλαγές αυτές μπορεί να αφορούν το μελλοντικό σχεδιασμό ανάπτυξης του μεταλλείου ή ακόμα και το κύκλωμα αερισμού.

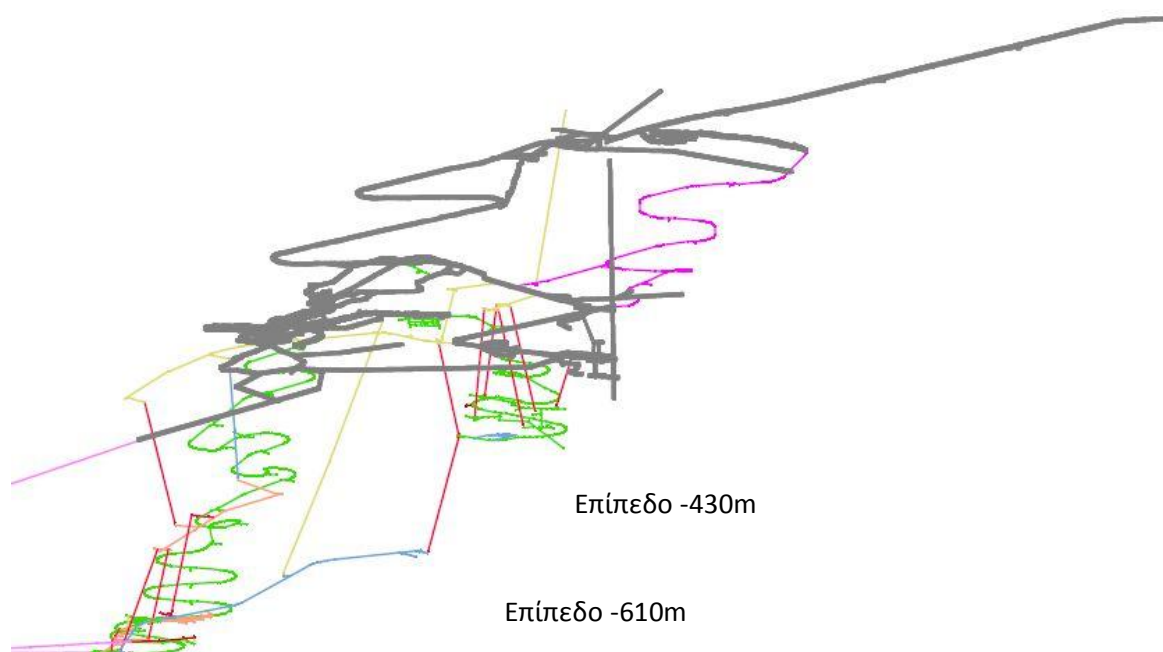
Έτσι λοιπόν σε ενδεχόμενη τέτοια περίπτωση θα υπάρχει η δυνατότητα μιας πρώτης εικόνας μέσω του προσομοιώματος αυτού, τα αποτελέσματα του οποίου μπορεί να είναι χρήσιμα.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την επίλυση με σταθερή παροχή δεν λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες πίεσης, ενώ στην επίλυση με την εισαγωγή των ανεμιστήρων το μοντέλο έχει καλύτερη φυσική προσαρμογή στα δεδομένα του μεταλλείου. Αυτό φαίνεται και από τις αποκλίσεις των παροχών στους δύο διαφορετικούς τρόπους επίλυσης καθώς στη δεύτερη περίπτωση οι αποκλίσεις λαμβάνουν μικρότερες τιμές.

5.8 Μελλοντική εξέλιξη

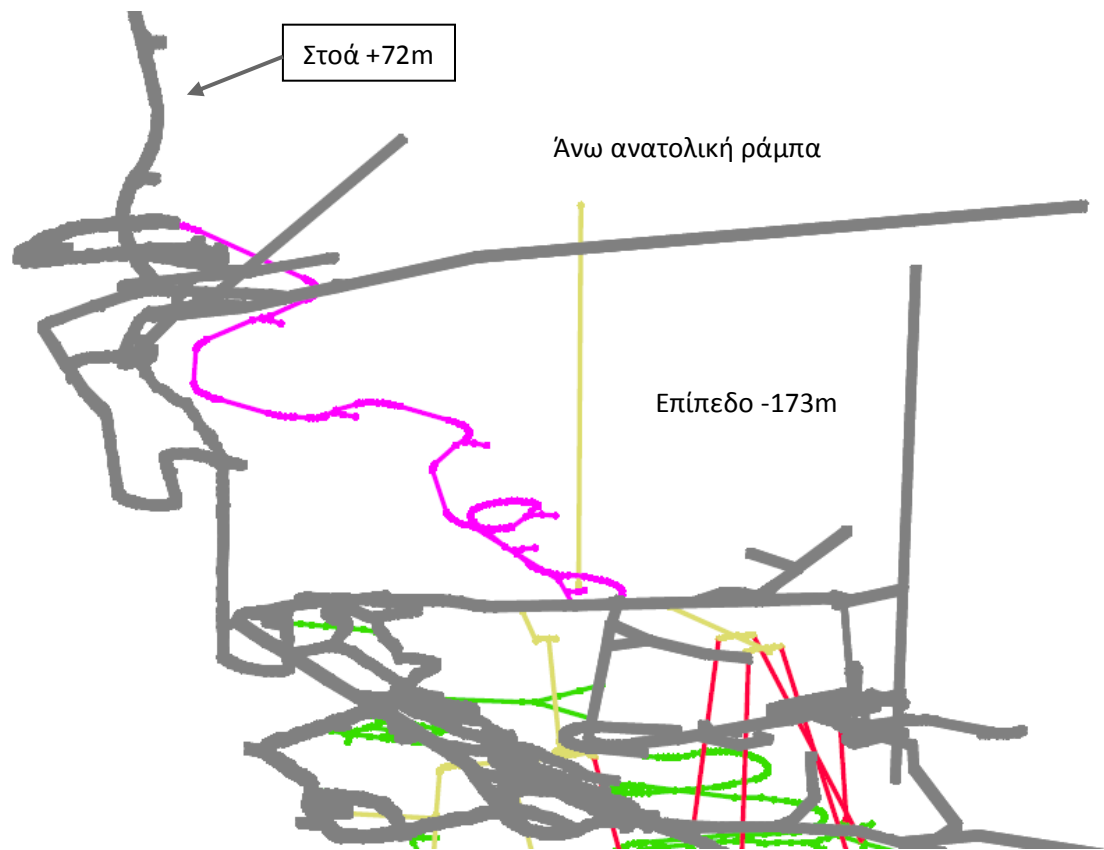
Στη μελλοντική εξέλιξη περιλαμβάνονται τα έργα που απεικονίζονται στις εικόνες 5.32, 5.33, 5.34 με κόκκινο, πράσινο, μωβ, μπλε και κίτρινο χρώμα.

Αυτά είναι τα “καμινέτα” αερισμού με κόκκινο χρώμα, ράμπες με πράσινο και μωβ χρώμα καθώς και άλλα έργα όπως κεκλιμένα με τα υπόλοιπα χρώματα.



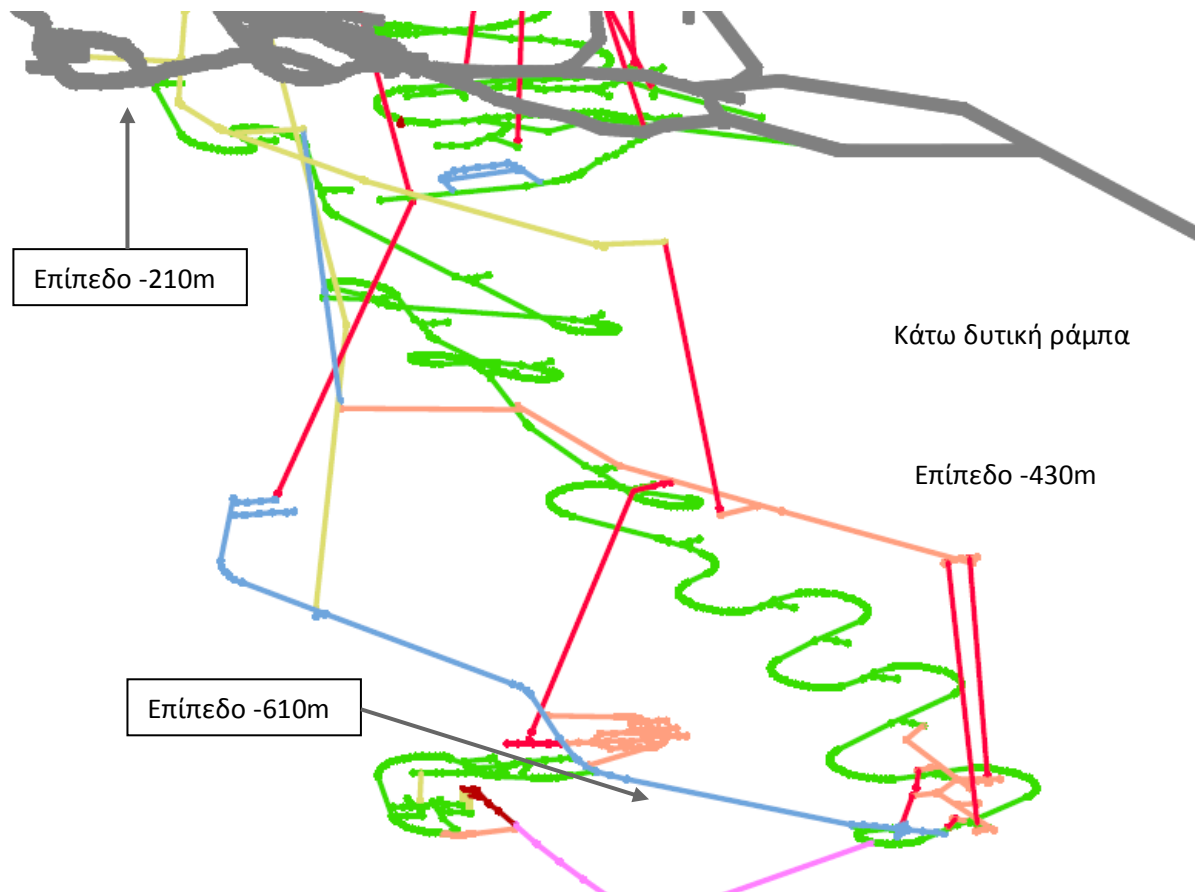
Εικόνα 5.32 Μελλοντική τελική διαμόρφωση μεταλλείου Ολυμπιάδας-μελλοντικά επίπεδα.

Σε εξέλιξη βρίσκεται σήμερα (Ιούλιος 2014) η διάνοιξη της “άνω ανατολικής” και της “κάτω δυτικής” ράμπας.



Εικόνα 5.33 "Άνω ανατολική" ράμπα.

Η "άνω ανατολική" ράμπα πρόκειται να συνδέει την στοά +71m με το επίπεδο -173m.



Εικόνα 5.34 "Κάτω δυτική" ράμπα.

Η "κάτω δυτική" ράμπα μετά την ολοκλήρωση της υπολογίζεται (σύμφωνα με τον τρέχοντα σχεδιασμό) να συνδέσει τα επίπεδα -210m, από όπου και ξεκινάει, το επίπεδο -430m καθώς και το επίπεδο -610m το οποίο θα αποτελεί το τελικό βάθος της εκμετάλλευσης.

Η μελλοντική εξέλιξη του μεταλλείου όπως σχεδιάζεται, πρέπει να μελετηθεί με βάση το προσομοίωμα που κατασκευάστηκε, από πλευράς αερισμού. Έτσι θα υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου εξυπηρέτησης των μελλοντικών αναγκών με βάση το υφιστάμενο κύκλωμα αερισμού.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συμπεράσματα

Για την κατασκευή του προσομοιώματος χρειάστηκε να γίνουν κάποιες απλοποιήσεις και κάποιες παραδοχές. Οι απλοποιήσεις αφορούν κυρίως την ανάπτυξη του προσομοιώματος με βάση τα υφιστάμενα έργα στο μεταλλείο (απάλειψη τυφλών ανοιγμάτων, απλοποίηση πολύπλοκων ανοιγμάτων, κλπ), ενώ οι παραδοχές αφορούν το υπολογιστικό μέρος του προσομοιώματος (γεωμετρία, αντιστάσεις κλάδων, κλπ).

Κατά τη βαθμονόμηση του προσομοιώματος, πρέπει να σημειωθεί ότι, δεν λήφθηκε υπόψη ο φυσικός αερισμός, καθώς οι αβεβαιότητες στις λοιπές παραμέτρους του μοντέλου θεωρήθηκε ότι είναι σημαντικά μεγαλύτερες από την πιθανή συνεισφορά του φυσικού αερισμού. Το γεγονός αυτό πρέπει να μελετηθεί καθώς όπως είναι γνωστό από τη θεωρία, ο φυσικός αερισμός μπορεί να λειτουργεί προς όφελος ή όχι του συνολικού κυκλώματος αερισμού.

Επίσης, καθώς οι απαιτήσεις αερισμού των υπόγειων μεταλλείων είναι ανάλογες με τον αριθμό των μηχανημάτων και των εργαζομένων ώστε να εξασφαλίζονται σωστές συνθήκες εργασίας, ο σχεδιασμός του κυκλώματος αερισμού θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις παραμέτρους αυτές έτσι ώστε οι προβλεπόμενες παροχές αέρα στους κλάδους εκμετάλλευσης να είναι σύμφωνες με τους κανονισμούς.

Από την παρούσα διπλωματική εργασία προκύπτουν γενικά και ειδικά συμπεράσματα. Όσον αφορά τα γενικά συμπεράσματα πρέπει να σημειωθεί ότι

- Σε πολλά σημεία του υφιστάμενου κυκλώματος υπάρχουν απώλειες αέρα οι οποίες επιβαρύνουν το κύκλωμα αερισμού.
- Οι μετρήσεις παροχής θα πρέπει να γίνονται σύμφωνα με διεθνή πρότυπα ούτως ώστε να υπάρχει επαναληψιμότητα στα αποτελέσματα.
- Από την μελέτη των χαρακτηριστικών καμπυλών των ανεμιστήρων που είναι εγκατεστημένοι στον Φιρέ παρατηρείται ότι οι ανεμιστήρες δουλεύουν σε περιοχές που δεν αποδίδουν ικανοποιητικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κατανάλωση περισσότερης ενέργειας χωρίς την αξιοποίηση των μέγιστων δυνατοτήτων που μπορούν να παρέχουν.

- Οι υπόλοιπες αποκλίσεις μπορεί να οφείλονται στον τρόπο λήψης των μετρήσεων ή σε αποκλίσεις των οργάνων μέτρησης, τα οποία ανέρχονται σε ποσοστό 15-20%.

Τα ειδικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη είναι τα ακόλουθα

- Η αυξημένη απόκλιση της παροχής στο σημείο μέτρησης Q_2 οφείλεται στις διαρροές κατά την περίοδο μέτρησης λόγω του χώρου ξεκούρασης που υπάρχει στο επίπεδο 0. Έτσι η απώλεια των $5\text{ m}^3/\text{s}$ θεωρείται φυσιολογική καθώς φαίνεται να επηρεάζεται από το γεγονός αυτό.
- Οι μετρήσεις στα σημεία Q_5 και Q_6 παρουσιάζουν και αυτές απόκλιση που πρέπει να επισημανθεί. Υπό κανονικές συνθήκες αναμενόταν οι τιμές αυτές να είναι κοντά. Αυτό γιατί υπάρχει μόνο μία πόρτα στο επίπεδο -45m μεταξύ αυτών των σημείων. Παρατηρείται όμως ότι η τιμή της παροχής στο σημείο Q_6 είναι μεγαλύτερη κατά $13\text{ m}^3/\text{s}$ περίπου. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει την ύπαρξη βραχυκυκλώματος το οποίο δημιουργείται μέσω της πόρτας που είναι εγκατεστημένη στο επίπεδο -45m.
- Στο σημείο μέτρησης Q_7 εντοπίζεται επίσης βραχυκύκλωμα. Μεταξύ των σημείων Q_6 και Q_7 δεν υπάρχει κάποιο σημείο διαρροής. Άρα οι τιμές της παροχής στα σημεία αυτά έπρεπε να είναι κοντά. Εύκολα λοιπόν εντοπίζεται το βραχυκύκλωμα που συμβαίνει λόγω διαρροής του αέρα από το επίπεδο -100m όπου είναι εγκατεστημένοι οι ανεμιστήρες.

6.2 Προτάσεις

Οι ενέργειες που προτείνονται με σκοπό την αποδοτικότερη λειτουργία του κυκλώματος αερισμού είναι οι εξής:

- Οι μετρήσεις της ταχύτητας του αέρα, από τις οποίες προκύπτει η παροχή, να γίνονται με τον ενδεδειγμένο τρόπο, όσον αφορά τον τρόπο τοποθέτησης του οργάνου στη διατομή σε σχέση με εκτελούντα της μέτρησης.
- Να γίνει επανέλεγχος στα σημεία που διαπιστώνονται τα βραχυκυκλώματα για τυχόν διαρροές, οι οποίες δεν έχουν γίνει αντιληπτές.

- Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων η πόρτα του χώρου ξεκούρασης στο επίπεδο 0 πρέπει να παραμένει κλειστή ώστε να μην επηρεάζει τη μέτρηση.
- Τέλος, για την αποφυγή των διαρροών που προκαλούν βραχυκύκλωμα προτείνεται το κλείσιμο των αντίστοιχων ανοιγμάτων με στεγανό τρόπο. Με τον τρόπο αυτό ο αέρας θα είναι αδύνατον να διέλθει μέσω αυτών των ανοιγμάτων.
- Να μελετηθεί ο φυσικός αερισμός καθώς μπορεί να επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό το κύκλωμα αερισμού, λειτουργώντας είτε προς όφελος είτε εις βάρος αυτού.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βεράνης, Ν. (1994). Γεωλογική δομή και ορυκτές πρώτες ύλες στο νομό Χαλκιδικής, Ι.Γ.Μ.Ε., Θεσσαλονίκη.
2. Οικονομόπουλος, Ι. (1991). Ο αερισμός των μεταλλείων, Εκδόσεις Σ. Αθανασόπουλος – Σ. Παπαδάμης και Σια Ε.Ε.
3. Κανονισμός Μεταλλευτικών Και Λατομικών Εργασιών – ΥΑ2223 ΦΕΚ122714/06/11.
4. Μάρατος, Ε. (1995). Γεωλογική και κοιτασματολογική αναγνώριση της μεταλλοφόρου ΒΑ Χαλκιδικής Περιοχή Βαρβάρας-Ολυμπιάδας-Στρατονίκης.
5. Hall, C. J. (1981). Mine Ventilation Engineering, Society of Mining Engineers of The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. New York.
6. Hartman H. L., Mutmansky J. M., Wang Y. J., (1982). Mine Ventilation and Air Conditioning – 2nd Edition, a Wiley – interscience publication John Wiley and sons.
7. McPherson, M. (1993). Subsurface Ventilation and Environmental Engineering, Chapman and Hall,
8. Thimons E., Kohler J., (1985). Measurement of Air Velocity in Mines. Report of investigations, United States.
9. VentSim, version 3.9.2g July 2008, Mine Ventilation Simulation Software, Craig Steward, 2006.
10. <http://www.hellas-gold.com>
11. <http://www.coleparmer.com/TechLibraryArticle/17>