

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Συσχέτιση της ποιότητας του αέρα με τις δραστηριότητες
και τα χαρακτηριστικά μετώπων σε υπόγειες εξορυκτικές
δραστηριότητες



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Της
ΖΑΦΕΙΡΟΥΔΑ ΔΗΜΗΤΡΑΣ

Εξεταστική επιτροπή:

Γαλετάκης Μιχαήλ, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Κομνίτσας Κωνσταντίνος, Καθηγητής

Εξαδάκτυλος Γεώργιος, Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ, 2022

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που διατυπώνονται σε αυτήν την εργασία, εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής συμφωνούν με αυτές.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στη σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Μιχαήλ Γαλετάκη. Με την παρούσα εργασία φτάνουν στο τέλος τους οι σπουδές μου στη σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μιχαήλ Γαλετάκη για την εμπιστοσύνη και το ενδιαφέρον που έδειξε, καθώς και για την συμπαράσταση και την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου. Ακόμη ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην εταιρεία Ελληνικός Χρυσός, θυγατρική της Eldorado Gold για τη συνεργασία και τη βοήθεια που μου παρείχε καθώς και στα τμήματα της εταιρείας που συνέβαλαν στην παροχή στοιχείων και ιδιαίτερα την κα. Γαζέα Βηθλεέμ και την κα. Αικατερίνη Μαντέλα, όπου η βοήθειά τους ήταν πολύτιμη. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Κ. Κομνίτσα και τον Καθηγητή κ. Γ. Εξαδάκτυλο, που δέχτηκαν να συμμετάσχουν στην εξεταστική επιτροπή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την απaráμιλλη στήριξη και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Όλους αυτούς τους ανθρώπους και φίλους που με τον έναν ή τον άλλον τρόπο στήριξαν την προσπάθεια αυτή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το μεταλλείο της Ολυμπιάδας, που ανήκει στην εταιρεία Ελληνικός Χρυσός, χωροθετείται στην περιοχή των Δημοτικών Διαμερισμάτων Ολυμπιάδας, Βαρβάρας και Στρατονίκης, του Δήμου Αριστοτέλη, στη ΒΑ Χαλκιδική και αφορά στις παλιές εκμεταλλεύσεις της μικτής θειούχου μεταλλοφορίας Ολυμπιάδας. Από το 2012 που εγκρίθηκε η Τεχνική Μελέτη Εκμετάλλευσης του υποέργου Ολυμπιάδας, έχουν ξεκινήσει όλα τα απαιτούμενα έργα προσπέλασης, ανάπτυξης και αναβάθμισης, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα πλήρως ανεπτυγμένο και εκσυγχρονισμένο υπόγειο μεταλλείο. Κρίσιμη παράμετρος ενός υπόγειου μεταλλείου θεωρείται ο αερισμός του και ιδιαίτερα η ποιότητα του αέρα στα μέτωπα εξόρυξης.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη μελέτη της ποιότητας του αέρα στις υπόγειες εξορυκτικές δραστηριότητες στο μεταλλείο της Ολυμπιάδας, ήταν οι επί τόπου μετρήσεις των παραμέτρων ποιότητας του αέρα και η συσχέτιση τους με τα χαρακτηριστικά των μετώπων και τις διενεργούμενες εργασίες σε αυτά. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε συνεργασία με το τμήμα Υγιεινής και Ασφάλειας του μεταλλείου. Επιλέχθηκαν δύο μέτωπα, το ανατολικό -132 και το δυτικό -230_1, όπου ο αερισμός στα συγκεκριμένα μέτωπα γίνεται με φυσικό τρόπο. Λαμβάνοντας υπόψη τις διατομές των στοών με τις αντίστοιχες ταχύτητες του αέρα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα αέρια: O_2 , H_2S , NO , NO_2 , CO , CO_2 με το όργανο άμεσης ένδειξης τύπου Dragger x-am 5600.

Τα μέτωπα που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των αερίων ήταν πλήρως παραγωγικά και ελάμβαναν χώρα όλες οι φάσεις εργασιών που απαρτίζουν τον κύκλο εργασιών της υπόγειας εξόρυξης του μεταλλείου. Ο τρόπος λήψης των μετρήσεων γινόταν από ασφαλή σημεία κοντά στο μέτωπο και δίπλα στους εργαζομένους και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνταν στις σχετικές εργασίες. Η λήψη της πρώτης μέτρησης γινόταν πριν ξεκινήσει η κάθε εργασία για την εκτίμηση της τιμής υποβάθρου της σχετικής παραμέτρου ποιότητας του αέρα και μετά ακολουθούσε η σειρά μετρήσεων κατά τη διάρκεια της εργασίας. Πραγματοποιήθηκε μια σειρά μετρήσεων εντός του οκταώρου εργασίας διάρκειας 15 λεπτών εκάστη (μετρήσεις βραχείας έκθεσης).

Εκτός από τις μετρήσεις των αερίων λήφθηκαν και μετρήσεις για την υγρασία και την θερμοκρασία με την ίδια διαδικασία, με το όργανο Kestrel 5700. Επίσης πραγματοποιήθηκαν άμεσες μετρήσεις για την αιωρούμενη σκόνη με το όργανο «TSI DUST TRACK». Το όργανο δόθηκε στους χειριστές, ρυθμισμένο έτσι ώστε να λαμβάνει μέτρηση ανά 10 δευτερόλεπτα, ενώ ο χώρος των μετρήσεων για το «TSI DUST TRACK» ήταν η καμπίνα του χειριστή του μηχανήματος.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν και μετρήσεις για τα αιωρούμενα στον αέρα μικροσωματίδια που προέρχονται από την καύση του ντίζελ (Diesel Particulate Matter ή DPM) κατά τη λειτουργία του χρησιμοποιούμενου ντιζελοκίνητου εξοπλισμού. Οι δειγματοληψίες του αέρα έγιναν με αντλίες Gilan τύπου Gilair 5 με χρήση φίλτρων MCE Φ25 και MicroFiber Glass Φ37 ενώ χρησιμοποιήθηκαν υποδοχείς φίλτρων με κυκλώνα Door Oliver.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ανωτέρω βλαπτικών παραγόντων, που επιβαρύνουν την ποιότητα του αέρα, συγκρίθηκαν με τα όρια για βραχεία έκθεση (μετρήσεις 15 λεπτών) και έκθεση οκταώρου και πραγματοποιήθηκε συσχέτιση της ποιότητας του αέρα με τις δραστηριότητες και τα χαρακτηριστικά των μετώπων στις υπόγειες αυτές εξορυκτικές δραστηριότητες. Από τη σύγκριση των τιμών με τα όρια για βραχεία έκθεση και για 8ωρο, παρατηρήθηκε ότι όλες οι μετρήσεις των βλαπτικών παραγόντων βρίσκονται εντός ορίων που καθορίζει η νομοθεσία. Για τις μετρήσεις βραχείας έκθεσης (15 λεπτών) παρατηρήθηκε ότι στο ανατολικό μέτωπο η τιμή του μονοξειδίου του αζώτου είναι μεγαλύτερη από ότι στο δυτικό στις περισσότερες εργασίες. Στο ανατολικό μέτωπο παρατηρήθηκε ότι οι τιμές του διοξειδίου του αζώτου είναι μεγαλύτερες από ότι στο δυτικό κατά τη διάρκεια των εργασιών εφαρμογής εκτοξευόμενου σκυροδέματος (gunite) και κατά την υποστήριξη. Επίσης, οι τιμές του CO₂ κατά τη διάρκεια των εργασιών υποστήριξης της οροφής στο δυτικό μέτωπο είναι αυξημένες. Στη σύγκριση με τις τιμές του 8ώρου παρατηρήθηκε ότι οι τιμές του NO₂ είναι μεγαλύτερες στο δυτικό μέτωπο, στις εργασίες gunite και κατά την υποστήριξη, ενώ στη γόμωση είναι πιο αυξημένες στο δυτικό μέτωπο. Παρατηρείται ότι κατά την υποστήριξη και τη γόμωση οι τιμές του CO₂ είναι πιο αυξημένες στο δυτικό μέτωπο. Επιπλέον, παρατηρείται ότι στις εργασίες απομάκρυνσης επισφαλών όγκων πετρωμάτων από την οροφή και τις πλευρές της στοάς (ξεσκάρωμα) και κατά την υποστήριξη της οροφής της στοάς οι τιμές της σκόνης και για τα δύο μέτωπα είναι αυξημένες.

Η διπλωματική εργασία έχει την ακόλουθη διάρθρωση: Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στην ατμόσφαιρα των υπόγειων μεταλλείων. Πιο συγκεκριμένα, δίνονται πληροφορίες για τα αέρια και τη σκόνη που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα ενός υπόγειου μεταλλείου, όπως και τα επιτρεπόμενα όριά τους, καθώς και τα σωματίδια από την καύση ντίζελ (DPM). Επιπλέον, αναφέρεται στους μικροκλιματικούς παράγοντες του υπόγειου ορυχείου και πως επηρεάζουν αυτοί τον ανθρώπινο οργανισμό.

Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το μεταλλείο της Ολυμπιάδας όπου έγιναν οι μετρήσεις και περιγράφονται τα γεωλογικά και τα κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής εκμετάλλευσης. Επίσης, αναφέρονται οι μέθοδοι εξόρυξης, ο σχεδιασμός του μεταλλείου, η τρέχουσα κατάστασή του, τα μέτωπα στα οποία υλοποιήθηκαν οι μετρήσεις και τα όργανα – μετρητικές διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη των μετρήσεων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η επεξεργασία - συσχέτιση των μετρήσεων με τις δραστηριότητες και τα χαρακτηριστικά των μετώπων, παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Τέλος, δίνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργασία και γίνονται προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση.

ABSTRACT

Olympiada mine is located in the vicinity of the municipal communities of Olympiada, Varvara and Stratoniki of Aristotelis Municipality in the North-West peninsula of Chalkidiki, in Greece. The mining process concerns the current exploitation of the past exploitations of the mixed sulphur ledge of the Olympiada area. Since 2012, after the approval of Technical Exploitation Study of the subproject of Olympiada, it have started all the required processes of access, development and upgrading, in order to create a fully developed, modernised and functional mine. Critical parameter of an underground mine is the ventilation and especially the quality of the air at the mine faces.

For the interrelation of air quality with the activities of faces in underground mining processes of Hellas Gold, in Olympiada's mine, on-site measurements were carried out and were correlated with the conducted mining works. The used measurements were accomplished with the collaboration of the Health and Safety Department of the mine.

Firstly, two mine faces were chosen, the east -132 and the west -230_1, where ventilation is succeeded naturally. Taking into consideration the cross-sections of the mine galleries with the corresponding air velocity, measurements were performed in the following gases: O₂, H₂S, NO, NO₂, CO, CO₂ by using a Dragger x-am 5600 instrument.

Those two faces were fully productive in the turnover of the underground excavation of the mine. The measurements were taken from safe positions near the mine face and closely to the employees and their equipment. An initial measurement was taken before any task started. Next, the measurements followed during the mining activities. Then, measurements were recorded for short-term exposure (15 minutes for each measurement).

Apart from the gases measurements, there are also taken measurements for humidity and air temperature in the same way and by using a Kestrel 5700 instrument. For the measurements of the airborne dust, a «TSI DUST TRACK» instrument was used. The instruments were given to the operators, adjusted to record a measurement every ten seconds. The instruments were placed inside the operator cabin of the machine used.

For the measurement of DPM, an air sampling pump Gilan Gilair 5, equipped with a Door Oliver cyclone, MCE Φ25 and MicroFiber Glass Φ37 filters, were used.

The results of the measurements of the above harmful agents, which adversely affect the air quality, were compared with the limits for long term exposure (15 minute measurements) and eight hours of exposure of workers and a correlation of the quality of the air with the activities and the characteristics of the fronts in these underground mining activities took place. From the comparison of the value with the limits for long

term exposure for 8 hours, it was observed that all the measurements of the harmful agents were within the limit which is determined by the government. For short-term measurements, it was observed that in the east front, the value of nitrogen oxide is higher than in the west in most activities. In the east front it was observed that the values of nitrogen oxide are higher than in the west during the activities of gunite injection and during the roof support. In addition, the values of CO₂ during the roof support in the west mine face are increased. In comparison with the 8 hours values it was observed that the values of NO₂ are higher in the west mine face during the gunite injection and during the roof support, though during the blasting they are increased in the west mine face. Moreover, it is observed that during the roof scaling and roof support the values of dust concentration in both cases are increased. This is attributed to the fact that during these activities a big amount of dust is released.

This thesis has the following structure: The first chapter refers to the atmosphere of underground mines. In particular information is provided about the gases and dust which exist in the atmosphere of an underground mine as well as their allowed limits and the particles from the combustion of DPM. Furthermore reference is made of the microclimatic factors of the underground mines and how they affect the human body.

The second chapter presents the mine of Olympiada where the measurements and the described geological and deposit characteristics of the mining area took place. In addition the methods of mining, the planning of the mine, the current operations, the mine faces, where the measurements were conducted and the instruments used, are described.

In the third chapter the methodology used for the correlation of air quality with the activities is presented.

The fourth chapter includes the measurements processing and evaluation and their correlation with the mining activities and the characteristics of the mine faces.

Finally, the conclusions that were drawn in the thesis are given and suggestions for further research are made.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>	4
<u>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</u>	11
<u>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</u>	12
 <u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΕΡΙΣΜΟΣ-ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ</u>	14
<u>1.1. Αερισμός στα υπόγεια μεταλλεία</u>	14
<u>1.2. Παράμετροι ποιότητας στα υπόγεια ορυχεία</u>	15
<u>1.2.1 Οξυγόνο (O₂)</u>	16
<u>1.2.2. Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)</u>	16
<u>1.2.3. Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)</u>	17
<u>1.2.4. Υδρόθειο(H₂S)</u>	17
<u>1.2.5. Οξείδια του του αζώτου</u>	18
<u>1.2.6. Άλλα αέρια</u>	18
<u>1.3. Η σκόνη στα υπόγεια Ορυχεία</u>	19
<u>1.4. Απαιτήσεις με βάση την νομοθεσία (ΚΜΛΕ)</u>	21
<u>1.4.1 Τα επιτρεπόμενα όρια συγκεντρώσεων αερίων και κονιορτών</u>	23
<u>1.5. Τα σωματίδια ντίζελ (DPM)</u>	24
<u>1.6. Το κλίμα και οι πηγές θερμότητας των υπόγειων μεταλλείων</u>	25
<u>1.7. Η Υγρασία των Υπόγειων Μεταλλείων</u>	26
<u>1.8. Επίδραση του κλίματος των μεταλλείων στον ανθρ'ωπινο οργανισμό και Μέτρα Προστασίας</u>	27
 <u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:Περιγραφή των μεταλλευτικών εγκαταστάσεων Ολυμπιάδας</u>	29
<u>2.1. Θέση του μεταλλείου Ολυμπιάδας</u>	29
<u>2.2. Γεωλογικά χαρακτηριστικά της Περιοχής και της Ολυμπιάδας</u>	30
<u>2.3. Κοιτασματολογικά Ολυμπιάδας</u>	32
<u>2.4. Χαρακτηριστικά της Μεταλλοφορίας</u>	34

<u>2.5.</u>	<u>Μέθοδος εξόρυξης.....</u>	34
<u>2.5.1</u>	<u>Μέθοδος Εκμετάλλευσης Κοιτάσματος Μεταλλείου Ολυμπιάδας</u>	35
<u>2.6.</u>	<u>Σχεδιασμός Μεταλλείου</u>	37
<u>2.6.1</u>	<u>Βασικοί Παράγοντες του Σχεδιασμού</u>	38
<u>2.6.2</u>	<u>Μοντέλο Σχεδιασμού στο Μεταλλείο Ολυμπιάδας</u>	38
<u>2.7.</u>	<u>Μηχανισμός κυκλώματος αερισμού</u>	38
<u>2.7.1</u>	<u>Μηχανισμός Αερισμού του μεταλλείου Ολυμπιάδας</u>	39
<u>2.7.1.1</u>	<u>Διανομή Αέρα</u>	39
<u>2.7.1.2</u>	<u>Κύριο σύστημα Απαγωγής Αέρα.....</u>	40
<u>2.8</u>	<u>Αερισμός μεταλλείου Ολυμπιάδας (τρέχουσα κατάσταση).....</u>	41
<u>2.9.</u>	<u>Μέτωπα και μετρήσεις παραμέτρων ποιότητας του αέρα</u>	43
<u>2.10.</u>	<u>Χαρακτηριστικά του χρησιμοποιημένου εξοπλισμού στα επιλεγέντα μέτωπα</u>	44
 <u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μεθοδολογία μετρήσεων και επεξεργασίας.....</u>		47
<u>3.1.</u>	<u>Λήψη Μετρήσεων.</u>	47
<u>3.1.1</u>	<u>Μετρήσεις αερίων.....</u>	47
<u>3.1.2</u>	<u>Μετρήσεις σκόνης.....</u>	49
<u>3.1.3</u>	<u>Μετρήσεις DPM.....</u>	50
<u>3.1.4</u>	<u>Μετρήσεις μικροκλιματικών παραγόντων.....</u>	51
 <u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Επεξεργασία μετρήσεων -αποτελέσματα.....</u>		52
<u>4.1.</u>	<u>Επεξεργασία μετρήσεων -αποτελέσματα.....</u>	52
<u>4.2</u>	<u>Μετρήσεις ταχύτητας παροχής του αέρα και υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας.....</u>	55
<u>4.3</u>	<u>Μετρήσεις των παραμέτρων ποιότητας αέρα-μικροκλιματικών παραγόντων.....</u>	63
<u>4.4</u>	<u>Μέτρηση ταχύτητας-παροχής του αέρα και υπολογισμού της απαιτούμενης ποσότητας.....</u>	67
<u>4.5</u>	<u>Μετρήσεις των DPM.....</u>	74

4.6 Σύγκριση Μετώπων.....	76
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	83
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

1.1 Οριακές Τιμές και ανώτατες οριακές τιμές έκθεσης για διάφορους χημικούς τύπους (ΚΜΛΕ).....	19
1.2 Διάφορα είδη κονιορτών	20
1.3 Αερολύματα σε κλίμακα μεγέθους	20
2.1 Επιθυμητά στοιχεία	34
2.2 Βασικές απαιτήσεις αερισμού. Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμιστήρων.....	41
2.3 Μηχανήματα που ήταν σε λειτουργία στο ανατολικό μέτωπο (-132 m).....	45
2.4 Μηχανήματα που ήταν σε λειτουργία στο ανατολικό μέτωπο (-230_1 m).....	46
4.1 Αποτελέσματα μετρήσεων παραμέτρων ποιότητας του αέρα ανατολικού πατώματος στο επίπεδο -132.....	53
4.2 Τιμές των μικροκλιματικών παραμέτρων του εργασιακού χώρου του μετώπου - 132.....	55
4.3 Ταχύτητα και παροχή αέρα στη στοά του πατώματος -132.....	56
4.4 Υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής αέρα στο πάτωμα -132 με τον λειτουργούντα μηχανολογικό εξοπλισμό και των αριθμών των εργαζομένων.....	57
4.5 Αποτελέσματα μετρήσεων παραμέτρων ποιότητας του αέρα δυτικού πατώματος στο επίπεδο -230_1.....	63
4.6 Τιμές των μικροκλιματικών παραμέτρων του εργασιακού χώρου του μετώπου - 230_1.....	66
4.7 Ταχύτητα και παροχή αέρα στη στοά του πατώματος -230_1.....	67
4.8 Μέτρηση παροχής σε σχέση με τον μηχανικό εξοπλισμό και με βάση τον ΚΜΛΕ.....	68

4.9 Οριακές και ανώτατες οριακές τιμές των αερίων με βάση την βαθμονόμηση του οργάνου αλλά και σύμφωνα με τον ΚΜΛΕ.....	74
4.10 Μετρήσεις των DPM σε διάφορα πατώματα.....	75
4.11 Σύγκριση τιμών των ρύπων και της σκόνης και για τα δύο πατώματα.....	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

2.1 Χάρτης της ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων Κασσάνδρας.....	29
2.2 Υπόγειο μεταλλείο Ολυμπιάδας.....	30
2.3 Γεωλογία περιοχής έργου.....	31
2.4 Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης των Ελληνίδων, από τον Βορρά προς τον Νότο.....	32
2.5 Γεωλογικό μοντέλο μεταλλείου Ολυμπιάδας.....	33
2.6 Η απεικόνιση επιμήκους κοιτάσματος.....	35
2.7 Στοά πρόσβασης στο κοιτάσμα που εκτείνεται και εντός αυτού δίνοντας πρόσβαση από το δάπεδο στο ταβάνι.....	36
2.8 Η εκμετάλλευση φακοειδούς κοιτάσματος.....	37
2.9 Σύστημα αερισμού.....	39
2.10 Το δυτικό μέτωπο -230_1.....	44
2.11 Το ανατολικό μέτωπο -132 ή αλλιώς το -145_2.....	44
3.1 Όργανο μέτρησης των αερίων τύπου Dragger x-am 5600.....	48
3.2: Όργανο μέτρησης των μικροκλιματικών παραμέτρων τύπου Kestrel 5700-30	49
3.3 Όργανο μέτρησης της συγκέντρωσης της σκόνης τύπου TSI DUST TRACK	49
3.4 Όργανο Gilan Gilair 5.....	50
4.1 Απαιτούμενη παροχή αέρα ανά εκτελούμενη εργασία και μετρηθείσα για το μέτωπο 132.....	- 58

4.2 Μεταβολή των τιμών της συγκέντρωσης του NO(15λεπτες μετρήσεις) κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφόρων εργασιών στη στοά -132.....	59
4.3 Μεταβολή των τιμών της συγκέντρωσης του CO ₂ (15λεπτες μετρήσεις) κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφόρων εργασιών στη στοά -132.....	60
4.4 Μεταβολή των τιμών της συγκέντρωσης του NO ₂ (15λεπτες μετρήσεις) κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφόρων εργασιών στη στοά -132.....	61
4.5 Οι τιμές του ΔΘΥ της κάθε εργασίας.....	62
4.6 Απαιτούμενη παροχή αέρα ανά εκτελούμενη εργασία και μετρηθείσα για το πάτωμα 230_1.....	- 69
4.7 Μεταβολή των τιμών της συγκέντρωσης του NO(15λεπτες μετρήσεις) κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφόρων εργασιών στη στοά -230_1	70
4.8 Μεταβολή των τιμών της συγκέντρωσης του CO ₂ (15λεπτες μετρήσεις) κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφόρων εργασιών στη στοά -230_1.....	71
4.9 Μεταβολή των τιμών της συγκέντρωσης του NO ₂ (15λεπτες μετρήσεις) κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφόρων εργασιών στη στοά -230_1.....	72
4.10 Οι τιμές του ΔΘΥ της κάθε εργασίας.....	73
4.11 Σύγκριση του NO και για τα δύο μέτωπα.....	78
4.12 Σύγκριση του NO ₂ και για τα δύο μέτωπα.....	79
4.13 Σύγκριση του CO ₂ και για τα δύο μέτωπα.....	79
4.14 Σύγκριση του NO και για τα δύο μέτωπα σε σχέση με την οριακή τιμή έκθεσης το οκταώρου.....	80
4.15 Σύγκριση του NO ₂ και για τα δύο μέτωπα σε σχέση με την οριακή τιμή έκθεσης.....	81
4.16 Σύγκριση του CO ₂ και για τα δύο μέτωπα σε σχέση με την οριακή τιμή έκθεσης.....	81
4.17 Σύγκριση της συγκέντρωσης της σκόνης και για τα δύο μέτωπα σε σχέση με την οριακή τιμή έκθεσης.....	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΕΡΙΣΜΟΣ-ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ

1.1. Αερισμός στα υπόγεια ορυχεία

Τα υπόγεια ορυχεία πρέπει να διαθέτουν ένα αποτελεσματικό σύστημα αερισμού το οποίο να εξασφαλίζει την αραίωση και απαγωγή των επικίνδυνων αερίων και κονιορτών και να διατηρεί κατάλληλη θερμοκρασία και υγρασία στο χώρο όπου πραγματοποιούνται οι εργασίες. Το σύστημα του αερισμού πρέπει επίσης να παρέχει κάθε στιγμή και σε οποιαδήποτε θέση του υπόγειου χώρου την απαραίτητη για κάθε περίπτωση και εργασία, παροχή αέρα (Hartman, 1997).

Ο αερισμός είναι ένα σημαντικό ζήτημα στα υπόγεια ορυχεία. Εκτός από την προφανή απαίτηση παροχής καθαρού αέρα για τους εργαζομένους, υπάρχουν και άλλες απαιτήσεις. Για παράδειγμα, ο πετρελαιοκίνητος εξοπλισμός κατά την χρήση του απαιτεί καθαρό αέρα τόσο για την καύση όσο και για την αραίωση των ρύπων των καυσαερίων. Επίσης, κατά την χρήση εκρηκτικού εξοπλισμού, ο αέρας εξαερισμού μεταφέρεται και αραιώνει τα παραγόμενα αέρια. Η ποσότητα και το είδος των παραγόμενων επιβλαβών αερίων κατά την αποσύνθεση των εκρηκτικών υλών σχετίζεται σημαντικά με τον τύπο των εκρηκτικών υλών. Σήμερα σε πολλά κατασκευαστικά και υπόγεια έργα χρησιμοποιούν εκρηκτικά γαλακτώματος λόγω της υψηλότερης αντοχής τους στο νερό. Τέτοια εκρηκτικά έχει αποδειχθεί ότι παράγουν λιγότερα αέρια μετά την έκρηξη σε σύγκριση με αυτά που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα (Bakke et al., 2001).

Οι εκπομπές αερομεταφερόμενων στερεών σωματιδίων (σκόνη) είναι ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζουν όλες σχεδόν οι εκμεταλλεύσεις σε ένα υπόγειο μεταλλείο. Η σκόνη επιβαρύνει την ατμόσφαιρα ενός μεταλλείου και κατ' επέκταση τον αερισμό του. Παράγεται μέσω μιας σειράς διεργασιών που ξεκινούν από την εξόρυξη, τη θραύση-λειοτρίβηση, την μεταφορά και απόθεση των ορυκτών πρώτων υλών. Ο Kissel (2003) περιγράφει αναλυτικά τους μηχανισμούς δημιουργίας αιωρούμενων σωματιδίων σε ορυχεία και προτείνει τρόπους ελέγχου της για διάφορες περιπτώσεις. Αναφέρεται τόσο σε υπόγεια όσο και σε υπαίθρια ορυχεία και ανθρακωρυχεία και επισημαίνει ότι ο έλεγχος της σκόνης δεν είναι ένα απλό θέμα για αυτό και είναι δύσκολο να εξαλειφθεί.

Ο Paginas (2020) σε μελέτη του για την ρύπανση του αέρα σε υπόγεια ορυχεία της Αφρικής, αναφέρει ότι χρησιμοποιούνται ειδικοί ανεμιστήρες με συστήματα θυρίδων

για να κατευθύνουν τον καθαρό νωπό αέρα στους χώρους εργασίας και να απομακρύνουν τον ρυπασμένο από το υπόγειο μεταλλείο. Σε περίπτωση όπου η θερμοκρασία εντός ενός τμήματος του ορυχείου είναι χαμηλή, ο εισερχόμενος αέρας πρέπει πρώτα να θερμαίνεται ενώ σε περίπτωση όπου η θερμοκρασία είναι υψηλή (όπως σε πολύ βαθιά ορυχεία) ο αέρας πρέπει να ψύχεται με περίπλοκα συστήματα ψύξης. Αυτό καθιστά το ενεργειακό κόστος, το οποίο σχετίζεται με τα συστήματα εξαερισμού πολύ υψηλό.

1.2. Παράμετροι ποιότητας αέρα στα υπόγεια ορυχεία

Ο αέρας που εισέρχεται στα μεταλλεία ονομάζεται καθαρός ξηρός αέρας και έχει μία σύνθεση κατ' όγκον 78.10% N (άζωτο), 0.94% Ar (αργό), 20.93% O₂ (οξυγόνο) και 0.03% CO₂ (διοξείδιο του άνθρακα). Ο ξηρός αέρας δεν υφίσταται στις συνήθεις ατμόσφαιρες. Πρόκειται δηλαδή για έναν υποθετικό όρο που χρησιμοποιείται στον ποιοτικό έλεγχο του αέρα. Η κατάσταση που αντιμετωπίζεται στα υπόγεια μεταλλεία αφορά τον *υγρό ή 'κανονικό' αέρα*, ο οποίος είναι ένα μείγμα ξηρού αέρα και υδρατμών, συνήθως αρκετά άνω του 1%. Σε αυτές τις συνθήκες αναφερόμαστε σε 'κανονική' ατμόσφαιρα που λαμβάνεται και ως βάση στους υπολογισμούς του ποιοτικού και ποσοτικού ελέγχου του αέρα.

Ο ανθρώπινος οργανισμός εκπνέει αέρα που περιέχει 16.3% οξυγόνο (O₂) , 79.32% άζωτο (N₂) και 4.38% διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Όταν βρίσκεται σε ανάπαυση ο μέσος άνθρωπος αναπνέει 15 έως 18 φορές το λεπτό, εισπνέοντας 400-700 cm³ αέρα σε κάθε εισπνοή, (δηλαδή 5-13 λίτρα αέρα ανά λεπτό). Καταναλώνει 300 cm³ οξυγόνο το λεπτό, ενώ όταν εργάζεται σκληρά, οπότε αναπνέει με ταχύτερο ρυθμό, μπορεί να καταναλώσει μέχρι 3000 cm³ ή και περισσότερο.

Μέσα στο μεταλλείο, η κυκλοφορία του αέρα μειώνει την συγκέντρωση του οξυγόνου σε αυτόν. Αυτό οφείλεται στην αναπνοή των εργαζομένων και της λειτουργίας μηχανών εσωτερικής καύσης, αλλά και των αντιδράσεων οξειδωσης στα ανθρακοφόρα κοιτάσματα, στα ξύλα που χρησιμοποιούνται για υποστήριξη, καθώς επίσης και σε ορισμένα επιρρεπή σε οξείδωση μεταλλεύματα. Το οξυγόνο αυτό που χάνεται, αντικαθίσταται από το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο προέρχεται από τα καυσαέρια των μηχανών εσωτερικής καύσεως, την εκπνοή των εργαζομένων, τη σήψη των ξύλων και τα προϊόντα των αντιδράσεων οξειδώσεως του άνθρακα.

Το μονοξείδιο του άνθρακα βρίσκεται και αυτό στον αέρα των μεταλλείων και κυρίως προέρχεται από τα καυσαέρια των μηχανών εσωτερικής καύσης και τα προϊόντα αποσυνθέσεως των εκρηκτικών υλών. Σημαντικές ποσότητες διοξειδίου και μονοξειδίου του άνθρακα παράγονται σε πυρκαγιές ή εκρήξεις εκρηκτικών αερίων.

Όμως, αν το σύστημα αερισμού του μεταλλείου παρουσιάσει κάποιο πρόβλημα ή αχρηστευθεί από μία έκρηξη, τα αέρια θα παραμείνουν μέσα στις στοές μέχρι να λειτουργήσει το σύστημα ξανά.

Στην ατμόσφαιρα των υπόγειων μεταλλείων ανιχνεύονται και άλλα αέρια όπως οξείδια του αζώτου, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο κλπ (Οικονομόπουλος, 1991).

1.2.1. Οξυγόνο (O_2)

Το οξυγόνο αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα για την ζωή και την καύση. Η ποσότητα του οξυγόνου που χρειάζεται ο άνθρωπος είναι συνάρτηση της κινητικής δραστηριότητας του οργανισμού του. Αυτό σημαίνει ότι, όσο περισσότερο δραστηριοποιείται ο ανθρώπινος οργανισμός, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου σπαταλά (Hartman, 1997).

- Σε κανονικό ποσοστό οξυγόνου, που είναι 21%, οι άνθρωποι αναπνέουν άνετα και εργάζονται καλύτερα.
- Σε ποσοστό οξυγόνου 17% περίπου αναπνέουν ταχύτερα και βαθύτερα σαν να βρίσκονται σε ύψος 1500 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.
- Σε ποσοστό 15% περίπου αισθάνονται ταχυπαλμία, ζάλη, βουή στα αυτιά, συχνά και πονοκέφαλο.
- Σε ποσοστό 13% παρατηρείται έντονη ταχυπαλμία, εμετός και υπό ορισμένες συνθήκες απώλεια των αισθήσεων.
- Σε ποσοστό κάτω από 10% παρατηρείται κώμα και σπασμοί.
- Σε ποσοστό 7% έχουμε κίνδυνο απώλειας ζωής.
- Σε ποσοστό 6% περίπου έχουμε γρήγορο θάνατο (Οικονομόπουλος, 1991).

1.2.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)

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

Το CO_2 γενικά δεν θεωρείται επικίνδυνο στους ανθρώπους σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Ωστόσο, τα υψηλά επίπεδα αυτού του αερίου μπορεί να προκαλέσουν δυσάρεστα συναισθήματα όπως: ζάλη, πονοκέφαλοι, κόπωση, υπνηλία. Ακόμη και μειωμένη όραση και συντονισμό, δυσκολία λήψης αποφάσεων όπως επίσης μπορεί να επιβραδύνει τις αντιδράσεις των ανθρώπων. Το Εθνικό Ινστιτούτο Επαγγελματικής

Ασφάλειας και Υγείας (NIOSH) συνιστά όρια έκθεσης 5000 ppm CO₂ για σταθμισμένο μέσο όρο 8 ωρών (Andrzej Szczurek et al., 2020)

1.2.3. Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ένα άχρωμο, άοσμο και τοξικό αέριο, το οποίο παράγεται κυρίως από ατελή καύση υλικών που περιέχουν άνθρακα. Η ατελής καύση συμβαίνει όταν χρησιμοποιείται ανεπαρκές οξυγόνο στη διαδικασία καύσης καυσίμου (υδρογονάνθρακες). Κατά συνέπεια, εκπέμπεται περισσότερο μονοξείδιο του άνθρακα, κατά προτίμηση από το διοξείδιο του άνθρακα. Μερικά παραδείγματα αυτού είναι τα ακόλουθα: καυσάερια οχημάτων, κλίβανοι καύσης στερεών καυσίμων, εργοστάσια παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα, μικροί βενζινοκινητήρες, φορητές γεννήτριες με βενζίνη.

Η έκθεση στο μονοξείδιο του άνθρακα εμποδίζει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο στους ιστούς του σώματος και στα ζωτικά όργανα. Όταν το μονοξείδιο του άνθρακα εισπνέεται, συνδυάζεται με την αιμοσφαιρίνη (ένα συστατικό πρωτεΐνης σιδήρου των ερυθρών αιμοσφαιρίων), παράγοντας καρβοξυαιμοσφαιρίνη (COHb), η οποία μειώνει σημαντικά την ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου της αιμοσφαιρίνης.

Τα συνήθη συμπτώματα της έκθεσης στο μονοξείδιο του άνθρακα είναι πονοκέφαλος, ναυτία, γρήγορη αναπνοή, αδυναμία, εξάντληση, ζάλη και σύγχυση. Η υποξία (σοβαρή ανεπάρκεια οξυγόνου) λόγω οξείας δηλητηρίασης από μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να οδηγήσει σε αναστρέψιμες νευρολογικές επιπτώσεις (National Institute for Occupational Safety and Health, 2018).

1.2.4. Υδρόθειο (H₂S)

Το υδρόθειο (H₂S) είναι ένα άχρωμο αέριο με έντονη οσμή όμοια με εκείνη των «χαλασμένων» αυγών. Η έκθεση στο υδρόθειο μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό στα μάτια και στο αναπνευστικό σύστημα. Μπορεί επίσης να προκαλέσει άπνοια, κώμα, σπασμούς, ζάλη, πονοκέφαλο, αδυναμία, ευερεθιστότητα, αϋπνία, στομαχικές διαταραχές. Το επίπεδο έκθεσης εξαρτάται από τη δόση, τη χρονική διάρκεια και το είδος εργασίας που εκτελείται (NIOSH, 2019).

Το υδρόθειο που βρίσκεται στα μεταλλεία προέρχεται κυρίως από την αποσύνθεση των πυριτών και των ξύλων που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη των υπόγειων οροφών, καθώς και από την αποσύνθεση των εκρηκτικών υλών πλουσίων σε θείο και

σπανιότερα εκλύεται μαζί με το μεθάνιο από τα ανθρακοφόρα κοιτάσματα. Το συναντάμε συχνότερα σε μεταλλικά μεταλλεία (θειούχων μεταλλευμάτων) παρά σε ανθρακωρυχεία (Οικονομόπουλος, 1991).

1.2.5. Οξείδια του αζώτου

Το άζωτο σχηματίζει διάφορα οξείδια (N_2O , NO , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_3 και N_2O_5) τα οποία, είναι τοξικά με εξαίρεση το N_2O . Στην ατμόσφαιρα των υπόγειων μεταλλείων εντοπίζονται συχνότερα τα οξείδια NO και NO_2 που προέρχονται από τα αέρια αποσύνθεσης των εκρηκτικών υλών και τα καυσαέρια των μηχανών εσωτερικής καύσης. Συγκεντρώσεις των αερίων αυτών σε ποσότητες 100 ppm μπορούν να προκαλέσουν θάνατο, ενώ στα 700 ppm και στη διάρκεια 30 λεπτών επέρχεται ο θάνατος. Συχνός και σωστός αερισμός για την αραιώση και την ταχεία απαγωγή των τέτοιου είδους καπνών είναι απαραίτητος (Οικονομόπουλος, 1991).

1.2.6. Άλλα αέρια

Υπάρχουν και άλλα αέρια που εντοπίζονται σπανιότερα στην ατμόσφαιρα των υπόγειων μεταλλείων, όπως είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2), το υδρογόνο (H_2), ορισμένοι υδρογονάνθρακες της σειράς του μεθανίου και αλδεΐδες. Το SO_2 , βρίσκεται μέσα στη ζώνη κατακρημνίσεων κατά τις εκμεταλλεύσεις θειούχων κοιτασμάτων και είναι πολύ δηλητηριώδες και σε μικρές συγκεντρώσεις. Ερεθίζει τις αναπνευστικές οδούς και τους οφθαλμούς σε βαθμό ώστε να μη γίνεται ανεκτό, ακόμα και σε ποσοστά που δεν είναι αμέσως επικίνδυνα. Οι αλδεΐδες προέρχονται από τα καυσαέρια των μηχανών εσωτερικής καύσης. Όμως μπορεί να παραχθούν και κατά την απόσταξη ανθράκων κατά τη διάρκεια πυρκαγιών σε ανθρακωρυχεία. Ο ανθρώπινος οργανισμός είναι ευαίσθητος ακόμη και σε μικρές ποσότητες αλδεϊδών (Οικονομόπουλος, 1991). Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι οριακές τιμές και οι ανώτατες οριακές τιμές έκθεσης διαφόρων χημικών παραγόντων.

Πίνακας 1.1: Οριακές τιμές και ανώτατες οριακές τιμές έκθεσης για διάφορους χημικούς τύπους (ΚΜΛΕ).

ΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ (ppm)	ΑΝΩΤΑΤΗ ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ
--------------------	-------------------	---------------------

		ΕΚΘΕΣΗΣ (ppm)
Διοξείδιο του αζώτου	5	5
Διοξείδιο του άνθρακα	5000	5000
Μονοξείδιο του άνθρακα	50	300
Μονοξείδιο του αζώτου	25	25
Υδροθείο	10	15

1.3 Η Σκόνη στα Υπόγεια Ορυχεία

Οι σκόνες δημιουργούνται κατά τη μηχανική κατεργασία στερεών σωμάτων ή αποτελούν το τελικό προϊόν της εκφυλιστικής διαδικασίας των υλικών. Η κοκκομετρία τους ποικίλλει από μερικές εκατοντάδες μm μέχρι και κάτω από 0,10 μm (Γαλετάκης, 2019).

Στα υπόγεια μεταλλεία οι κυριότερες πηγές παραγωγής σκόνης διακρίνονται στις εργασίες: διάτρησης, ανατίναξης, φόρτωσης και μεταφοράς. Από την σκόνη στα ανθρακωρυχεία, η οποία είναι εύφλεκτη, μπορεί να δημιουργηθούν εκρήξεις με σοβαρές συνέπειες. Ενώ από την εισπνεόμενη σκόνη μπορεί να προκαλέσει βλάβες στο αναπνευστικό σύστημα και κυρίως στην περιοχή εναλλαγής των αερίων ή να χρησιμοποιήσει το αναπνευστικό σύστημα για πύλη εισόδου στον ανθρώπινο οργανισμό, με αποτέλεσμα να μεταφέρει την επιβλαβή δράση της σε άλλα όργανα και ιστούς (Γαλετάκης, 2019). Έχουν μεγάλη ποικιλία και δύσκολα μπορούν να ταξινομηθούν, όμως οι επιπτώσεις στον οργανισμό του ανθρώπου είναι πολλές. Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζονται διάφορα είδη κονιορτών.

Πίνακας 1.2: Είδη κονιορτών.

Σκόνη επιβλαβής για το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Οι κονιορτοί αυτοί προέρχονται από το ελεύθερο διοξείδιο του πυριτίου, τα μεταλλεύματα του βηρυλλίου, του κασσιτέρου, τα πυριτικά ορυκτά κλπ.

Σκόνη που μπορεί να προκαλέσει καρκίνο. Μπορεί να προέλθει από τα προϊόντα της διάσπασης του αμιάντου, ραδονίου και τα μεταλλεύματα του αρσενικού.
Σκόνη τοξική για ορισμένα όργανα και ιστούς του ανθρώπινου οργανισμού. Πρόκειται για τις σκόνες που προέρχονται από μεταλλεύματα βηρυλλίου, αρσενικού, μόλυβδου, ουρανίου, χρωμίου.
Σκόνη ραδιενεργή λόγω των εκπεμπόμενων ακτινοβολιών. Αφορούν τις σκόνες που προέρχονται από τα μεταλλεύματα ουρανίου, θορίου και ραδίου.
Σκόνη εκρηκτική. Πρόκειται για κονιορτούς από γαιάνθρακες, όπως και για σκόνες ορισμένων μετάλλων και θειούχων μεταλλευμάτων.
Σκόνη ενοχλητική με μικρή επίδραση στον εργαζόμενο. Οι σκόνες αυτές προέρχονται από τη γύψο, τον καολίνη και τον ασβεστόλιθο.
Σκόνη αδρανής, χωρίς επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό. Καμία σκόνη δεν μπορεί να τοποθετηθεί σε αυτή την κατηγορία.

Το μέγεθος του σωματιδίου της σκόνης εκφράζεται σε μικρόμετρα (μm) και σε νανόμετρα (nm) για σωματίδια μικρότερα από $0,1 \mu\text{m}$ (Ruzer and Harley, 2005). Ανάλογα με το μέγεθός τους και με την επίδρασή τους στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου, τα αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους και με την επίδραση τους στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου (ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε, 2007). Επειδή, το σχήμα των κονιορτών ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό, χρησιμοποιείται μια προβλεπόμενη ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος για την σωστή ταξινόμησή τους. Στον πίνακα 1.3 παρουσιάζεται το εύρος τιμών για τα πιο κοινά αερολύματα.

Πίνακας 1.3 : Αερολύματα σε κλίμακα μεγέθους μικρόμετρα, 10^{-6} m (McPherson, 1993).

Τύπος Αερολύματος	Εύρος μεγέθους σε μικρόμετρα (10^{-6} m)	
	από	έως
Αναπνεύσιμη σκόνη	-	7
Άνθρακας και άλλες σκόνες πετρωμάτων	0,1	100
Συνήθεις σκόνες στην ατμόσφαιρα	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
Υδρονέφωση	50	100
Σταγόνες ψιλής βροχής	100	400
Ομίχλη	5	50

Οποιαδήποτε σκόνη που είναι εισπνεόμενη σε μεγάλες ποσότητες και για μεγάλο χρονικό διάστημα, είναι επιβλαβής για τον ανθρώπινο οργανισμό. Αυτό σημαίνει ότι ο σχετικός έλεγχος στα υπόγεια μεταλλεία πρέπει να είναι αυστηρός και ανεξάρτητος από την προέλευση των παραγόμενων κονιορτών. Η πνευμονοκονίαση είναι μία ασθένεια που προέρχεται από την εισπνοή οποιασδήποτε σκόνης, ενώ η σιλίκωση είναι μία ασθένεια που προέρχεται από σκόνη ελεύθερου διοξειδίου του πυριτίου, η ανθράκωση από σκόνη άνθρακα (Επαγγελματικά και Περιβαλλοντικά Νοσήματα των Πνευμόνων, 2007) .

1.4 Απαιτήσεις με βάση την νομοθεσία (ΚΜΛΕ)

Παρακάτω, παρατίθενται άρθρα από τον Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ), που αφορούν τον αερισμό των μεταλλείων και των λατομικών εργασιών. Σκοπός τους είναι η επιβολή κανόνων προστασίας των εργαζομένων από τις επιβλαβείς ουσίες, οι οποίες υπάρχουν στην ατμόσφαιρα των υπόγειων μεταλλείων. Η κάθε χώρα ορίζει τους δικούς της κανόνες ασφαλείας, βασισμένες στις μελέτες που έχουν γίνει σχετικά με την επίδραση του ανθρώπινου οργανισμού με τις επικίνδυνες ουσίες που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα των υπόγειων μεταλλείων.

Προστασία εργαζομένων από φυσικούς και χημικούς παράγοντες στο εργασιακό περιβάλλον (Κεφάλαιο IV-Μέρος Β΄, ΚΜΛΕ)

- Προστασία των εργαζομένων από αιωρούμενες σκόνες, αέρια, ατμούς και λοιπούς χημικούς παράγοντες (Άρθρο 22)

Σε κάθε θέση εργασίας που υπάρχει έκθεση των εργαζομένων σ' ένα ή περισσότερα από τα είδη σκόνης ή αερίων ή ατμών ή καπνών, έχουν οριστεί οριακές τιμές έκθεσης και ανώτατες οριακές τιμές έκθεσης, που δεν πρέπει να ξεπερνιούνται.

- Προστασία των εργαζομένων από τη θερμική καταπόνηση (Άρθρο 23)

Στις εργασίες σε υπόγεια μεταλλεία αν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 28 °C, πρέπει να γίνονται με κατάλληλα όργανα συχνές μετρήσεις, το λιγότερο μια φορά την ημέρα, για τον έλεγχο του Δείκτη θερμοκρασίας - υγρασίας

- Καταχώρηση μετρήσεων (Άρθρο 24)

Οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε θέση εργασίας και ημερομηνία, πρέπει να καταχωρούνται μαζί με τα στοιχεία (μέθοδοι, όργανα, χρόνοι μετρήσεων) σε ειδικά θεωρημένα από οποιαδήποτε δημόσια αρχή βιβλία.

Αερισμός υπόγειων εργασιών (Κεφάλαιο VIII-Μέρος Γ', ΚΜΛΕ)

- Απαιτήσεις σε αερισμό (Άρθρο 75)

Στις υπόγειες εργασίες, πρέπει να κυκλοφορεί επαρκές ρεύμα καθαρού αέρα για την άνετη αναπνοή των εργαζομένων και την απομάκρυνση επικίνδυνων αερίων, της σκόνης και των καπνών. Ο εισερχόμενος στις υπόγειες εργασίες αέρας, πρέπει να είναι καθαρός και να διοχετεύεται, με τη συντομότερη διαδρομή, μέχρι και τις τελευταίες θέσεις εργασίας. 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. Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του αέρα σ' όλους τους χώρους εργασίας δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 19,5% σε όγκο.

- Κυκλώματα, εγκαταστάσεις και δίκτυα αερισμού (Άρθρο 76)

Το κύκλωμα αερισμού, πρέπει να σχεδιάζεται με τρόπο ώστε να διαχωρίζονται, το εισερχόμενο ρεύμα καθαρού αέρα από το εξερχόμενο ρεύμα. Οι εγκαταστάσεις για την κυκλοφορία του αέρα πρέπει να λειτουργούν, όσο το δυνατό, αυτόματα. Επίσης, το κύκλωμα αερισμού, πρέπει να περιλαμβάνει, για τις περιπτώσεις απόλυτης ανάγκης ή βλάβης ή συντήρησης των κύριων ανεμιστήρων και επαρκή αριθμό εφεδρικών ανεμιστήρων έτοιμων για χρήση.

- Έλεγχοι αερισμού (Άρθρο 77)

Το κεντρικό κύκλωμα αερισμού, πρέπει, με φροντίδα του άμεσα επιβλέποντα μηχανικού, να ελέγχεται από το ειδικά εξουσιοδοτημένο προσωπικό, με τις κατάλληλες συσκευές και όργανα. Στα μέτωπα και στις θέσεις εργασίας, πρέπει επίσης να ελέγχονται η ποσότητα και η ταχύτητα του αέρα. Σε κάθε υπόγεια εργασία, πρέπει να ελέγχονται οι συγκεντρώσεις το λιγότερο, του διοξειδίου και μονοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του θείου και διοξειδίου του αζώτου.

- Προστασία εργαζομένων (Άρθρο 78)

Όταν διαπιστωθεί ότι η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του αέρα σ' ένα χώρο εργασίας είναι μικρότερη από 19,5% ή ότι οι συγκεντρώσεις των αερίων έχουν ξεπεράσει τις μέγιστες οριακές τιμές πρέπει να φορέσουν οι εργαζόμενοι τα μέσα ατομικής προστασίας. Σε περιπτώσεις υπόγειων εργασιών όπου εκλύονται δηλητηριώδη αέρια ή ο επιστρεφόμενος αέρας έχει συγκεντρώσεις σε επιβλαβή αέρια μεγαλύτερες από τις Μέσες Οριακές Τιμές το ρεύμα επιστροφής του αέρα, πρέπει να εξέρχεται από ιδιαίτερη έξοδο. Επιπλέον, απαγορεύεται αυστηρά η είσοδος εργαζομένων σε χώρους όπου έχουν διακοπεί, για μεγάλο χρονικό διάστημα, οι εργασίες ή έχουν εγκαταλειφθεί.

1.4.1 Τα επιτρεπόμενα όρια συγκεντρώσεων αερίων και κονιορτών

Η προστασία των εργαζομένων που εκτίθενται σε ατμοσφαιρικό περιβάλλον το οποίο περιέχει επικίνδυνα αέρια και σκόνη δεν μπορεί να ελεγχθεί και να επιτύχει χωρίς τη θέσπιση ορισμένων ορίων συγκεντρώσεων. Εάν υπάρξει υπέρβαση αυτών των οριακών τιμών, απαιτείται άμεση λήψη αποτελεσματικών μέτρων για την αποκατάσταση των ασφαλών συνθηκών. Ως οριακές τιμές ορίζονται γενικά οι τιμές εκείνες των συγκεντρώσεων των επιβλαβών παραγόντων που δεν δημιουργούν κίνδυνο για τους εργαζομένους, οι οποίοι εκτίθενται καθημερινά σε αυτούς. Οι οριακές τιμές ανάλογα με τη χρονική διάρκεια έκθεσης στην οποία αναφέρονται διακρίνονται σε:

Οριακή τιμή-Μέση χρονικά σταθμισμένη τιμή συγκεντρώσεως.

Μέση χρονικά σταθμισμένη τιμή συγκεντρώσεων είναι η μέση τιμή που προκύπτει από κατάλληλα εκτελούμενες αντιπροσωπευτικές μετρήσεις κατά τη διάρκεια της ημερήσιας ή της εβδομαδιαίας εργασίας.

Οριακή τιμή εκθέσεως μικρής χρονικής διάρκειας.

Πρόκειται για τη μέγιστη συγκέντρωση κατά την οποία επιτρέπεται να εκτεθούν οι εργαζόμενοι επί χρονικό διάστημα μέχρι το πολύ 15 λεπτών.

Μέγιστη τιμή συγκεντρώσεως.

Πρόκειται για την τιμή συγκεντρώσεως της οποίας δεν επιτρέπεται υπέρβαση ούτε στιγμιαία (ΚΜΛΕ).

1.5 Τα σωματίδια ντίζελ (Diesel Particulate Matter ή DPM)

Η αυξανόμενη χρήση εξοπλισμού με κινητήρα ντίζελ σε περιορισμένους χώρους (υπόγεια ορυχεία) εκθέτει υπερβολικά τους εργαζομένους στα σωματίδια ντίζελ (DPM).

Οι εργαζόμενοι στα υπόγεια ορυχεία μπορούν να εκτεθούν σε τέτοιες συγκεντρώσεις πολύ περισσότερο από ότι σε άλλες βιομηχανίες. Ένας μεγάλος αριθμός επιδημιολογικών μελετών έδειξαν ότι τόσο η βραχυπρόθεσμη όσο και η μακροπρόθεσμη έκθεση στο DPM έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία.

Τα DPM είναι ένα σύνθετο, μείγμα στερεών και υγρών σωματιδίων που αιωρούνται στον αέρα. Η σύσταση του μεταβάλλεται χρονικά και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως ο λόγος καυσίμου/αέρα του κινητήρα, η κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα (π.χ. ταχύτητα/φορτίο), η παρουσία συσκευών επεξεργασίας των καυσαερίων (όπως ένα φίλτρο σωματιδίων ντίζελ), την κατάσταση συντήρησης του κινητήρα καθώς και τον τύπο του καυσίμου και των λιπαντικών που χρησιμοποιούνται. Η κύρια αιτία των εκπομπών DPM θεωρείται η υψηλή αναλογία καυσίμου/αέρα (Respiratory health effects of diesel particulate matter, 2011).

Για την μέτρηση των DPM με την βαρυτομετρική μέθοδο (δειγματοληψία αέρα με φίλτρο και αντλία) μετρώνται συνήθως μια σειρά από παράμετροι στο συλλεγόμενο στο φίλτρο υλικό όπως: ο άνθρακας σε μορφή αιθάλης (Black Carbon) ή ο στοιχειακός άνθρακας (Elemental Carbon) και ο οργανικός άνθρακας ή οι αρωματικοί πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες (PAHs). Στη εργασία αυτή μετρήθηκαν το BC και τα PAHs για την εκτίμηση της συγκέντρωσης των DPM.

Η επίπτωση των DPM στην υγεία των εργαζομένων σε υπόγεια ορυχεία είναι ιδιαίτερα σημαντικό θέμα λόγω της εκτεταμένης χρήσης ντιζελοκίνητου εξοπλισμού και έχει τύχει εκτενούς επιστημονικής διερεύνησης.

Οι Chang Pinh και Xu Guang (2017) υπολόγισαν σε μια έρευνα που αφορούσε τις επιπτώσεις στην υγεία λόγω της έκθεσης των εργαζομένων στα σωματίδια ντίζελ ότι η έκθεση για τους εργαζομένους σε ανθρακωρυχεία και μη κυμαίνεται από 10-1280 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ με περιβαλλοντική ισοδύναμη έκθεση 2-269 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Αναφέρουν ότι δεδομένου ότι ο πετρελαιοκίνητος εξοπλισμός έχει καλή απόδοση, οικονομία, αντοχή και η χρήση του αυξάνεται συνεχώς, τόσο στα υπόγεια ορυχεία άνθρακα όσο και σε μεταλλικά/μη μεταλλικά ορυχεία το θέμα αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό.

Για να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι για την υγεία των εργαζομένων, η συγκέντρωση σε DPM πρέπει να διατηρείται κάτω από ένα αποδεκτό όριο. Το επίσημο όριο έκθεσης σε DPM για υπόγεια ορυχεία δεν έχει ακόμη καθοριστεί διεθνώς και το όριο αυτό ποικίλλει από χώρα σε χώρα. Η Γερμανία, ο Καναδάς και οι ΗΠΑ έχουν ήδη θέσει το όριο για την έκθεση σε DPM για τις βιομηχανίες εξόρυξης. Η Γερμανία θέτει το όριο DPM για υπόγεια μη ανθρακωρυχεία και άλλους επιφανειακούς χώρους εργασίας σε 0,3 και 0,1 mg/m^3 , αντίστοιχα. Το Canada Center for Mineral and Energy Technology θέτει το όριο για DPM στα 0,75 mg/m^3 . Στις ΗΠΑ, η Υπηρεσία Ασφάλειας και Υγείας

των Ορυχείων (MSHA) έχει θέσει ως όριο έκθεσης για DPM για ορυχεία (μεταλλικών/μη μεταλλικών ορυκτών) το $0,16 \text{ mg/m}^3$ (μετρούμενο ως συνολικός άνθρακας, Total Carbon ή TC) (Pinh and Guang, 2017).

1.6 Το κλίμα και οι πηγές θερμότητας των υπόγειων μεταλλείων

Στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις μπορεί να αναπτυχθούν υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει την ανάγκη ψύξης του περιβάλλοντος εργασίας, ώστε η θερμοκρασία σε συνδυασμό με την υφιστάμενη υγρασία να καταστεί ανεκτή από το προσωπικό του μεταλλείου. Αυτό είναι αδύνατον να γίνει με φυσικό τρόπο οπότε χρησιμοποιούνται τεχνητοί τρόποι, όπως ο αερισμός με νωπό αέρα και να απαιτηθεί και με αέρα που έχει ψυχθεί.

Για την εφαρμογή των σωστών τεχνικών μέτρων για την επίτευξη της κατάλληλης θερμοκρασίας είναι απαραίτητη η γνώση των πηγών θερμότητας, οι πηγές δηλαδή που μπορεί να προκαλέσουν την αύξηση της θερμοκρασίας. Η πηγή αυτή αποτελεί σημαντικό παράγοντα κατά την εκμετάλλευση του μεταλλείου και ιδιαίτερα σε μεγάλα σχετικά μεγέθη. Επίσης, σημαντικό παράγοντα αποτελεί η γνώση των δυνατοτήτων εκτιμήσεως ή θεωρητικού υπολογισμού της ροής θερμότητας και η εφαρμογή διαφόρων μεθόδων μετρήσεως. 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. Η δια των συγχρόνων μέσων μεταφοράς ταχύτητα αποκόμισης των εξορυσσόμενων προϊόντων εκ των μετώπων συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας των στοών δια των οποίων τα εν λόγω προϊόντα διέρχονται, δεδομένου ότι ουσιαστικά δεν παρέχεται, μεταξύ διαδοχικών κοπών, επαρκής χρόνος προς ψύξη των μετώπων.

Τα ύδατα που προέρχονται από θερμές περιοχές πετρωμάτων, αποτελούν επίσης πηγή θερμότητας στα υπόγεια μεταλλεία. Τα νερά μεταφέρουν τη θερμότητά τους στον αέρα κατά τη διάρκεια της εξατμίσεως, αυξάνοντας έτσι τη λανθάνουσα θερμότητα αέρα. Επίσης, από την εξάτμιση του νερού που χρησιμοποιείται κατά τις διάφορες φάσεις της εκμετάλλευσης εντοπίζονται ποσότητες λανθάνουσας θερμότητας και το οποίο θερμαίνεται κατά την επαφή του με το μέταλλευμα και τα πετρώματα (Οικονομόπουλος, 1991).

Άλλες πηγές που επηρεάζουν την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, είναι:

- Ο μεταβολισμός των εργαζομένων.
- Οι ζώνες κατακρημνίσεων, κατά τις οποίες εντοπίζονται βραχυκυκλώματα ρευμάτων αέρα. Έτσι, γίνεται πιο εύκολα η εκδήλωση φαινομένων αυτοθερμάνσεως.
- Η λειτουργία του εξοπλισμού.
- Οι εκρηκτικές ύλες, μετά την πυροδότηση.
- Οι σωληνώσεις

Οι μετρήσεις στα υπόγεια μεταλλεία αφορούν μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα, των περιβαλλόντων πετρωμάτων σε βάθος και των παρειών των εκσκαφών. Για την μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα χρησιμοποιούνται συμβατικά θερμόμετρα ή θερμόμετρα με θερμοστοιχεία και η τιμή της ένδειξης ορίζεται ως θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου. Η γνώση της θερμοκρασίας του πετρώματος αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Η μέτρηση της θερμοκρασίας στις παρειές εκτελείται με τη βοήθεια θερμοηλεκτρικών ζευγών που τοποθετούνται σε επαφή με το πέτρωμα.

Η ενσωμάτωση των φυσικών και φυσιολογικών παραμέτρων του εργασιακού χώρου ενός ορυχείου σε ένα και μοναδικό «αριθμό» ικανό να προσδιορίσει τις συνθήκες της θερμικής άνεσης των εργαζομένων, οδήγησε στο να γίνει επεξεργασία και καθιέρωση των μικροκλιματικών δεικτών. Οι μικροκλιματικοί δείκτες αποτελούν έγκυρα κριτήρια αναφοράς, στην προσπάθεια διερεύνησης των μικροκλιματικών παραμέτρων, για τη δημιουργία ενός θερμοκρασιακά κατάλληλου εργασιακού περιβάλλοντος. Ο δείκτης WBGT (Wet Bulb Globe Temperature ή θερμοκρασία θερμομέτρων υγρού και σφαιρικού θερμομέτρου) είναι ένας από αυτούς και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της θερμικής καταπόνησης σε κλειστούς ή υπαίθριους εργασιακούς χώρους που προστατεύονται από το ηλιακό φορτίο, με παρουσία όμως πηγών ακτινοβολούμενης θερμότητας και ορίζεται ως:

$$WBGT = 0.7 t_{nw} + 0.3 t_g (^{\circ}C),$$

όπου t_{nw} παράμετρος της θερμοκρασίας του υγρού θερμομέτρου και t_g της θερμοκρασίας του σφαιρικού θερμομέτρου. Ο δείκτης WBGT είναι η πιο απλή και κατάλληλη τεχνική για τη μέτρηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων που καθορίζουν τα θερμικά φορτία (Γαλετάκης, 2019).

1.7. Η υγρασία των υπόγειων μεταλλείων

Ο υδρατμός που βρίσκεται στον αέρα χαρακτηρίζεται ως υγρασία και αποτελεί έναν από τους κύριους παράγοντες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση του κλίματος των

υπόγειων μεταλλείων. Η μονάδα μάζας ξηρού αέρα του μείγματος που αντιστοιχείται από τη μάζα του ατμού, εκφράζει την σε υγρασία περιεκτικότητα του αέρα.

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

Για την εκτίμηση του θερμοκρασιακού περιβάλλοντος ενός εργασιακού χώρου, υπάρχουν τέσσερα μεγέθη (παράμετροι) που πρέπει να συνεκτιμηθούν προκειμένου να προσδιοριστεί η θερμοκρασιακή πραγματικότητα του χώρου. Αυτοί οι παράμετροι είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα του αέρα, καθώς επίσης και η ακτινοβολία των θερμικά ακτινοβολούντων σωμάτων ή επιφανειών. Πράγματι, ένα εργασιακό περιβάλλον στο οποίο η θερμοκρασία του αέρα είναι 35°C, η σχετική υγρασία μικρή, στο οποίο υπάρχει κίνηση του αέρα ενώ δεν υπάρχουν ακτινοβολούντα σώματα, είναι ευνοϊκότερο για τον εργαζόμενο από ένα περιβάλλον στο οποίο η θερμοκρασία του αέρα είναι 32°C, αλλά η σχετική υγρασία είναι μεγάλη, ο αέρας είναι πρακτικά ακίνητος και υπάρχουν ακτινοβολούντα σώματα στον εργασιακό χώρο.

Σχετική υγρασία (Rh%) εκφράζει το επί τοις % ποσοστό κορεσμού του ατμοσφαιρικού αέρα σε υδρατμούς και επηρεάζει τη θερμοαποβολή που διενεργείται δια μέσου της εξάτμισης του ιδρώτα των εργαζομένων (Γαλετάκης, 2019).

1.8. Επίδραση του κλίματος των μεταλλείων στον ανθρώπινο οργανισμό και μέτρα προστασίας.

Είναι γνωστό, ότι ο άνθρωπος αισθάνεται καλά όταν η θερμοκρασία του βρίσκεται μεταξύ 36-37°C. Κατά την εκτέλεση ελαφριάς εργασίας (χειρισμό ορισμένων μηχανημάτων) παράγεται ελάχιστη θερμότητα, μέσης εργασίας (τοποθέτηση πλαισίων υποστηρίξεως, όρυξη διατρημάτων) παράγεται μια πιο αυξημένη θερμότητα και βαριάς εργασίας (φόρτωση προϊόντων εξορύξεως με φτυάρια) παράγεται αρκετή θερμότητα.

Αυτό το γεγονός είναι πολύ ευνοϊκό για τον ανθρώπινο οργανισμό στο ψυχρό περιβάλλον, αποτελεί όμως πηγή φυσιολογικών προβλημάτων σε περίπτωση αύξησης της εξωτερικής θερμοκρασίας. Για να υποβοηθηθεί ο ρυθμιστικός μηχανισμός του σώματος να διατηρήσει την θερμική ισορροπία σε θερμούς χώρους στα μεταλλεία, πρέπει να λαμβάνονται μέτρα, όπως:

- Να υποδεικνύεται στους εργαζομένους να φέρουν κατάλληλο ελαφρύ ρουχισμό, ώστε να διευκολύνεται τόσο η απώλεια θερμότητας από το σώμα όσο και η εξάτμιση του ιδρώτα.
- Να εξασφαλίζεται επαρκής αερισμός, με αποφυγή υπερβολικών ταχυτήτων του ρεύματος και ιδιαίτερα η θερμοκρασία του αέρα να είναι ανώτερη από τη θερμοκρασία του σώματος.
- Να εγκλιματίζεται κατάλληλα το προσωπικά στα υγρά, θερμά κλίματα για περίοδο 5-8 ημερών ή και περισσότερο, ώστε να προσαρμόζεται ευκολότερα σε ακραίες συνθήκες.
- Να εξασφαλίζεται η ύπαρξη δροσερού, πόσιμου νερού κοντά στα μέτωπα εργασίας.
- Να αντικαθίσταται η απώλεια άλατος, η οποία προέρχεται με την εφίδρωση, με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων στο πόσιμο νερό.
- Να χορηγούνται καθημερινά κατάλληλες ποσότητες βιταμίνης C.

Η έκθεση σε υπερβολικά θερμό περιβάλλον στα υπόγεια μεταλλεία μπορεί να προκαλέσει στους εργαζομένους: αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος, εφίδρωση, ταχυπαλμία, θερμοπληξία, θερμικούς σπασμούς, κόπωση κλπ.

Οι κυριότεροι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι:

- Η θερμοκρασία του ξηρού αέρα.
- Η υγρασία του αέρα, όπως καθορίζεται από τη θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου και τη βαρομετρική πίεση.
- Η ταχύτητα του ρεύματος του αέρα.
- Η ακτινοβολία των παρειών των στοών.

Η ένταση της μυϊκής δραστηριότητας είναι ένας παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη, διότι επιδρά στο μεταβολισμό του ανθρώπινου οργανισμού (Οικονομόπουλος, 1991).

Η θερμοκρασία του ξηρού θερμομέτρου λόγω της ευκολίας με την οποία μπορεί να ληφθεί χρησιμοποιείται ως δείκτης για το περιβάλλον των υπόγειων μεταλλείων, όμως παρουσιάζει αναξιοπιστία απέναντι στις αντιδράσεις του ανθρώπινου οργανισμού.

Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ υγρού και ξηρού θερμομέτρου χρησιμοποιείται επίσης ως δείκτης. Η θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου μέχρι 28 °C θεωρείται γενικά ανεκτή. Στους 32°C η εργασία γίνεται δύσκολη, ενώ στους 35 °C η απόδοση περιορίζεται στο 20 % της κανονικής, κυρίως όταν η ταχύτητα του αέρα είναι μικρή, δηλαδή κάτω από 0,5 m/s (Γαλετάκης, 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Περιγραφή των μεταλλευτικών εγκαταστάσεων Ολυμπιάδας

2.1. Θέση του μεταλλείου της Ολυμπιάδας

Το μεταλλείο της Ολυμπιάδας ανήκει στην εταιρία «ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ». Οι εγκαταστάσεις της ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ για την εκμετάλλευση των μεταλλείων Κασσάνδρας, βρίσκονται 110km από τη Θεσσαλονίκη (ανατολικά) και η έκτασή τους καλύπτει επιφάνεια 264.000 στρέμματα. Η επιφάνεια αυτή περικλείει το κοίτασμα των Σκουριών, των Μαύρων Πετρών, της Ολυμπιάδας και το κοίτασμα του Μαντέμ Λάκκου που έχει ήδη εξορυχθεί (www.hellas-gold.com)

Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται ο χάρτης της ευρύτερης περιοχής όπου φαίνεται η περιοχή όπου αναπτύσσεται το μεταλλείο της Ολυμπιάδας.



Σχήμα 2.1: Χάρτης της ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων Κασσάνδρας Χαλκιδικής (hellas-gold.com).

Το μεταλλείο της Ολυμπιάδας λειτουργούσε παλαιότερα, παρέμενε όμως ανενεργό για 17 σχεδόν χρόνια. Μόλις αδειοδοτήθηκε το ολοκληρωμένο επενδυτικό σχέδιο της «ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ», ξεκίνησαν διαδικασίες εκσυγχρονισμού του μεταλλείου Ολυμπιάδας. Στα τέλη του 2017 ξεκίνησε η εκμετάλλευση του κοιτάσματος και πραγματοποιήθηκαν έργα υποδομής για την πλήρη αξιοποίησή του, έργα προσπέλασης και ανάπτυξης καθώς και αναβάθμιση του μεταλλείου, ώστε να δημιουργηθεί ένα αναπτυγμένο και εκσυγχρονισμένο μεταλλείο (Σχήμα 2.2).



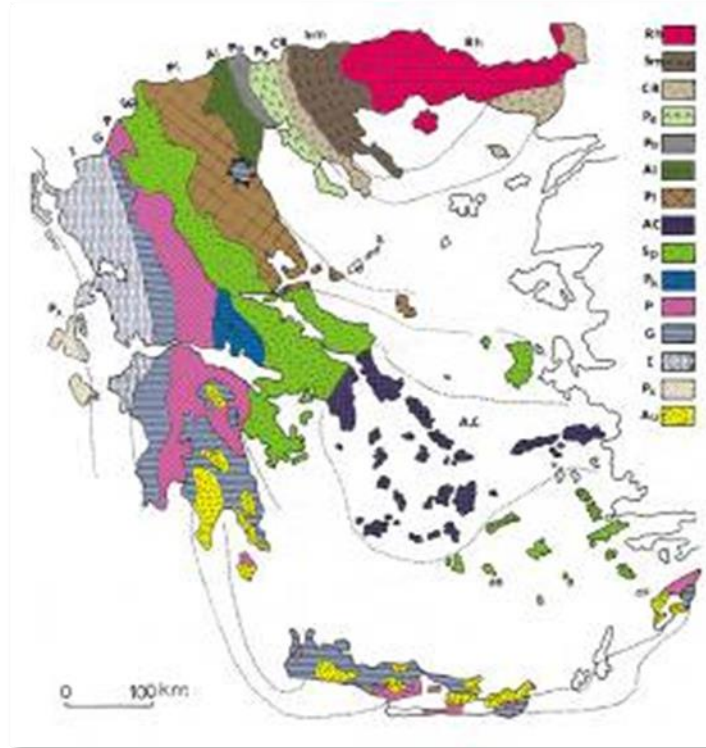
Σχήμα 2.2: Υπόγειο μεταλλείο Ολυμπιάδας.

2.2. Γεωλογικά Χαρακτηριστικά της Περιοχής και της Ολυμπιάδας

Η περιοχή της εκμετάλλευσης ανήκει γεωλογικά στη Σερβομακεδονική Μάζα, η οποία δομείται κατά κύριο λόγο από κρυσταλλοσχιστώδη Παλαιοζωικά πετρώματα και νεότερες πυριγενείς διεισδύσεις του Τριτογενούς (Σχήμα 2.3). Επίσης, η Σερβομακεδονική κρυσταλλοσχιστώδης μάζα στην ευρύτερη περιοχή των έργων υποδιαιρείται στον σχηματισμό Κερδυλίων στα ανατολικά και στον υπερκείμενο σχηματισμό Βερτίσκου στα δυτικά, η επαφή των οποίων, κατά θέσεις διαπιστώνεται ότι πρόκειται για μείζονα ρηγματογενή ζώνη (ρήγμα / επώθηση Στατωνίου - Βαρβάρας) (Θεοδωρούδης κ.ά., 1999 και 2000).

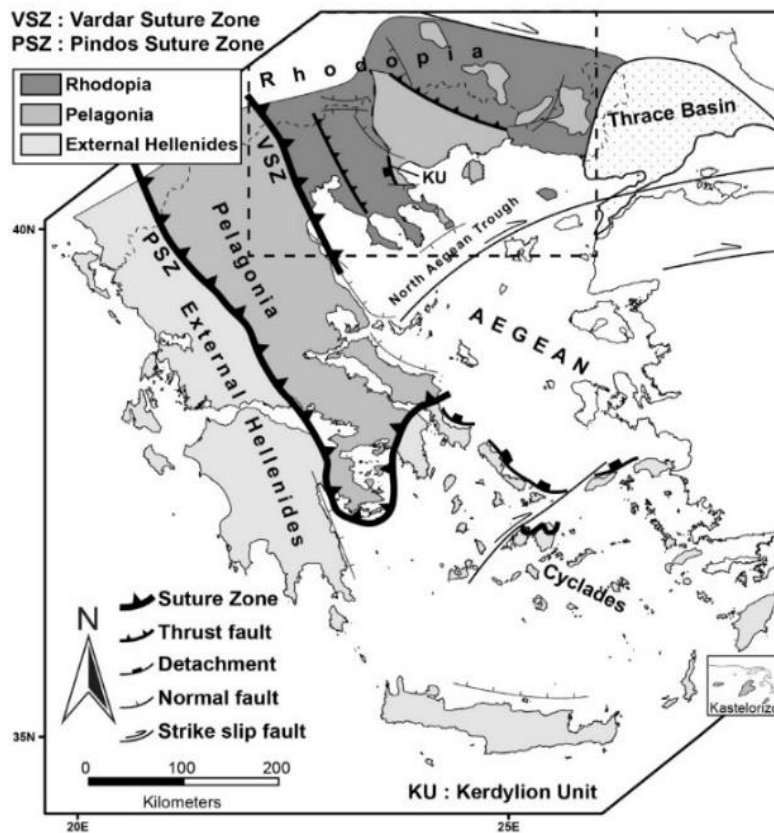
Ο σχηματισμός Κερδυλίων συνίσταται από βιοτιτικό γνεύσιο με ενστρώσεις κεροστιλβικού γνεύσιου, αμφιβολιτών και μαρμάρου. Ο υπερκείμενος σχηματισμός του Βερτίσκου αποτελείται κυρίως από διμαρμαρυγικό γνεύσιο με παρεμβολές διμαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και βιοτιτικών γνεύσιων.

Οι νεότερες αποθέσεις στην περιοχή μελέτης είναι Πλειστοκαινικής-Ολοκαινικής ηλικίας και εντοπίζονται κύρια στις πεδινές περιοχές Ολυμπιάδας, Στρατωνίου και Κοκκινόλακκα. Το όριο μεταξύ των δύο παραπάνω σχηματισμών Βερτίσκου - Κερδυλλίων τοποθετείται κατά μήκος μίας τεκτονικής διαταραχής, του ανάστροφου ρήγματος/ επώθησης Στρατωνίου – Πιάβιτσας - Βαρβάρας.



Σχήμα 2.3: Γεωλογία περιοχής έργου. Σερβομακεδονική μάζα: Περιέχει μεταμορφωμένο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και δύο σειρές (Kockel & Walther 1968): κατώτερη σειρά (Κερδυλλίων), ανώτερη σειρά (Βερτίσκου).

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας από το Άνω Κρητιδικό έως το Τριτογενές υπόκεινται σε συνεχείς διαφορικές ανοδικές κινήσεις που είχαν σαν αποτέλεσμα την κορύφωση των ανατηκτικών φαινομένων, αλλά και τον ασβεσταλκαλικό μαγματισμό (τεχνική μελέτη μεταλλευτικών εγκαταστάσεων Ολυμπιάδας). Στο σχήμα 2.4 παρουσιάζεται ο απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης των Ελληνίδων (Kydonakis et al., 2015). Από τον Βορρά προς τον Νότο διακρίνουμε τρεις ηπειρωτικές ζώνες (Ροδόπη, Πελαγονική, Εξωτερικές Ελληνίδες) και δύο ωκεάνιες περιοχές (Ζώνη Βαρδάρη/Αξιού και Ζώνη Πίνδου), KU: Kerdylion Unit/ Ενότητα Κερδυλλίων, PSZ: Pindos Suture Zone/ Ζώνη Πίνδου και VSZ: Vardar Suture Zone/ Ζώνη Βαρδάρη - Αξιού.



Σχήμα 2.4: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης των Ελληνίδων, από τον Βορρά προς τον Νότο.

Στην ευρύτερη περιοχή, ο μαγματισμός αυτός εκφράζεται όχι μόνο από τους γρανοδιορίτες του Ηωκαίνου – Ολιγικαίνου (Ιερισσού – Στρατωνίου) αλλά και από τους ασβεσταλκαλικούς πορφυρίτες του Μειοκαίνου (Σκουριές – Αλατίνα – Φυσώκα). Η μαγματική αυτή δραστηριότητα, εκτός των φαινομένων μεταμορφισμού επαφής και ανάδρομης πρασινοςχιστολιθικής φάσης, οδήγησε και στις υδροθερμικές μεταλλοφόρες συγκεντρώσεις της περιοχής (Frei, 1992).

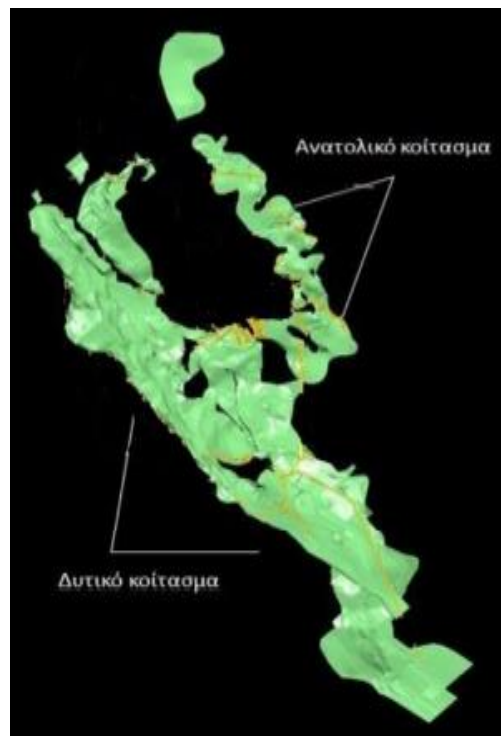
2.3. Κοιτασματολογία Ολυμπιάδας

Στον σχηματισμό των Κερδυλλίων βρίσκεται το κοίτασμα της Ολυμπιάδας, έχει διεύθυνση βόρεια από της επαφής με τον σχηματισμό Βερτίκου και απόσταση 5 km από αυτή. Το μέταλλευμα της Ολυμπιάδας ανήκει στην κατηγορία των πολυμεταλλικών κοιτασμάτων αντικατάστασης. Αυτά τα κοιτάσματα δημιουργούνται όταν μεταλλοφόρα-υδροθερμικά ρευστά έρχονται σε επαφή με μάρμαρα ή ιζηματογενή πετρώματα και αντιδρούν με αυτά, προκαλώντας απόθεση των

μεταλλικών στοιχείων που περιέχουν. Το κοίτασμα της Ολυμπιάδας στον σχηματισμό των Κερδυλλίων, βρίσκεται εντός των οριζόντων μαρμάρου του ανώτερου σχηματισμού των Κερδυλλίων. Επίσης, αποτελεί μία συμπαγή υδροθερμική μεταλλοφορία εξ'αντικατάστασης του μαρμάρου. Τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα είναι σημαντική πηγή χαλκού (Cu), μολύβδου (Pb), ψευδαργύρου (Zn), χρυσού (Au) και αργύρου (Ag).

Από την απόθεση μεταλλικών στοιχείων προκύπτουν αυτά τα κοιτάσματα, τα οποία περιέχονται σε μεταλλοφόρα-υδροθερμικά ρευστά. Πηγές των ρευστών αυτών αποτελούν όξινες έως ενδιάμεσες γειτονικές διεισδύσεις μάγματος. Τα στοιχεία αυτά αποτίθενται κατά την επαφή τους και τις αντιδράσεις που προκαλούνται με τα μάρμαρα ή τα ιζηματογενή που συναντούν στη ροή τους. Η πορεία της ροής των ρευστών ακολουθεί ζώνες αυξημένου πορώδους και ρήγματα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία επιμηκών φλεβών με ελεγχόμενο προσανατολισμό.

Η μεταλλοφορία στο μεταλλείο Ολυμπιάδας εμφανίζεται κατά μήκος του άνω τεμάχους του ρήγματος της Κασσάνδρας όπως και στην περιοχή μεταξύ του ρήγματος της Κασσάνδρας και του Ανατολικού Ρήγματος, στο επίπεδο που «σβήνει» το πρώτο και συναντάει τον ορίζοντα μαρμάρου που βυθίζεται με μικρή γωνία προς τα ΝΑ. Με αποτέλεσμα, να προκύπτει και ο διαχωρισμός της μεταλλοφορίας σε δύο σώματα, το Ανατολικό και το Δυτικό κοίτασμα όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.5 (Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, 2010).



Σχήμα 2.5: Γεωλογικό μοντέλο μεταλλείου Ολυμπιάδας.

2.4. Χαρακτηριστικά της Μεταλλοφορίας

Η μεταλλοφορία χαρακτηρίζεται από μεικτά θειούχα ορυκτά σε περιοχές ευνοϊκές για υδροθερμική κυκλοφορία (ρωγμές, διακλάσεις, λιθολογικές επαφές, κ.ά). Η αντικατάσταση γίνεται κυρίως σε φακούς πηγματιτών και διεισδύσεις πάνω ή κοντά σε ρηξιγενείς ζώνες συνδεόμενες με μάρμαρα. Το κοίτασμα της Ολυμπιάδας αποτελείται κυρίως από αρσеноπυρίτη (FeAsS), σφαλερίτη (ZnS), γαληνίτη (PbS), σιδηροπυρίτη (FeS_2) (Μαντέλα, 2017). Το μεταλλείο Ολυμπιάδας παράγει συμπυκνώματα PbS (γαληνίτης), ZnS (σφαλερίτης) και Fe-As-S (πυρίτης/αρσеноπυρίτης) σε μονάδα επίπλευσης, που κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1970, στις περιοχές Στρατωνίου και Ολυμπιάδας. Η περιεκτικότητα των συμπυκνωμάτων σε καθαρά σουλφίδια κυμαίνεται μεταξύ 80-90% (συνήθης περιεκτικότητα εμπορεύσιμων συμπυκνωμάτων διεθνώς). Πρέπει να σημειωθεί ότι το ορυχείο Ολυμπιάδας επανεκκίνησε πρόσφατα (2018) την παραγωγή συμπυκνωμάτων που περιέχουν Pb , Zn , Ag και Au μετά από περίπου 10 χρόνια παύσης (Εμμανουήλ Δάφτης κ.α, 2019). Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται τα μέταλλα που παρουσιάζουν ιδιαίτερο οικονομικό ενδιαφέρον και τα ορυκτά στα οποία απαντώνται.

Πίνακας 2.1: Επιθυμητά στοιχεία.

Μέταλλο	Ορυκτά στα οποία απαντάται
Au	Βρίσκεται στην κρυσταλλική δομή του αρσеноπυρίτη και των αρσενούχων πυριτών, ελάχιστος σε ελεύθερη μορφή (αυτοφυής).
Ag	Εντοπίζεται στην κρυσταλλική δομή του γαληνίτη (δεν υπάρχουν άλλες ενώσεις Ag) και ο Ag εμφανίζει συσχέτιση με το Pb .
Pb	Γαληνίτης
Zn	Σφαλερίτης

2.5. Μέθοδος Εξόρυξης

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι εξόρυξης ενός κοιτάσματος και η επιλογή της κατάλληλης γίνεται λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά από παραμέτρους όπως:

- Την θέση του κοιτάσματος στον χώρο (θέση, σχήμα, κλίση) και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.
- Την οικονομική αξία του κοιτάσματος καθώς και την ποιότητά του.
- Τους επιθυμητούς ρυθμούς παραγωγής.
- Την προστασία του περιβάλλοντος.

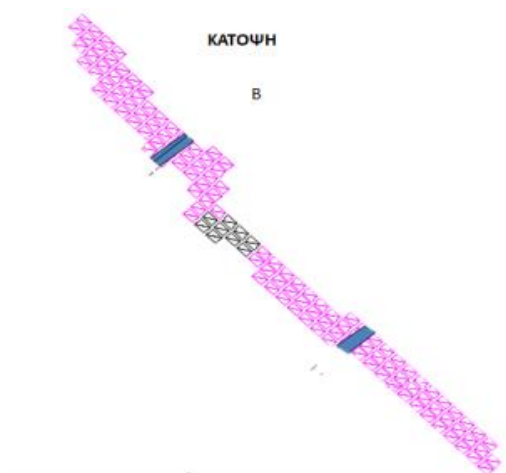
Επίσης η επιλογή του τρόπου εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος πρέπει να καλύπτει ορισμένα βασικά κριτήρια, όπως: Η ασφάλεια του προσωπικού του μεταλλείου, η οικονομικότητα της εκμετάλλευσης, η μέγιστη δυνατή αποληψιμότητα, λαμβάνοντας υπόψιν όλους τους περιοριστικούς παράγοντες, περιβαλλοντικούς, ασφάλειας κλπ. (ΜΠΕ,2010).

2.5.1. Μέθοδος Εκμετάλλευσης Κοιτάσματος Μεταλλείου Ολυμπιάδας

Στο μεταλλείο Ολυμπιάδας χρησιμοποιείται η μέθοδος της λιθογόμωσης ή όπως αλλιώς λέγεται μέθοδος «Drift and Fill». Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο, κατά μήκος της στοάς περιχάραξης ή στοάς πρόσβασης πατώματος διανοίγονται στοές πρόσβασης που οδηγούν στο κοίτασμα. Με βάση το σχήμα του κοιτάσματος διακρίνονται τρεις κατηγορίες:

Κοίτασμα μικρού πάχους

Στο σχήμα 2.6 παρουσιάζεται η απεικόνιση μιας κάτοψης επιμήκους κοιτάσματος. Την στοά πρόσβασης ακολουθεί στοά η οποία περνάει από το δάπεδο του κοιτάσματος και φτάνει μέχρι το ταβάνι του κοιτάσματος (www.orykta.gr).

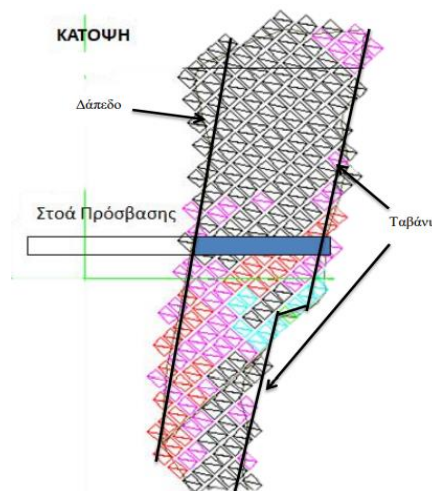


Σχήμα 2.6: Η απεικόνιση επιμήκους κοιτάσματος (www.orykta.gr).

Η στοά πρόσβασης χωρίζεται σε άλλες δύο στοές που αυτές με την σειρά τους οδηγούν αριστερά και δεξιά αυτού, για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος. Ο αριθμός των στοών πρόσβασης που θα διανοιχθούν για την εξόρυξη του κοιτάσματος εξαρτάται και από το μήκος του κοιτάσματος, τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά αυτού, αλλά και από ένα σύνολο άλλων λειτουργικών και οικονομοτεχνικών παραγόντων λειτουργίας του ορυχείου. Στη συνέχεια ακολουθείται η ίδια διαδικασία εξόρυξης όπως και στην εξόρυξη του ταβανιού, διανοίγοντας παραγωγικές στοές αριστερά και δεξιά της στοάς εισόδου του κοιτάσματος. Τέλος, όταν ολοκληρωθεί η λιθογόμωση γίνονται γεωλογικοί έλεγχοι και όταν βεβαιωθεί πως δεν υπάρχει πλέον κοίτασμα, τότε αυτό είναι έτοιμο να εγκαταλειφθεί.

Κοίτασμα μεγάλου πάχους

Στην περίπτωση αυτή που το κοίτασμα έχει μεγαλύτερο πάχος τότε αλλάζει σχετικά η εκμετάλλευσή του. Στο σχήμα 2.7 παρουσιάζεται η στοά πρόσβασης στο κοίτασμα, η οποία επεκτείνεται και εντός αυτού δίνοντας πρόσβαση από το δάπεδο στο ταβάνι.



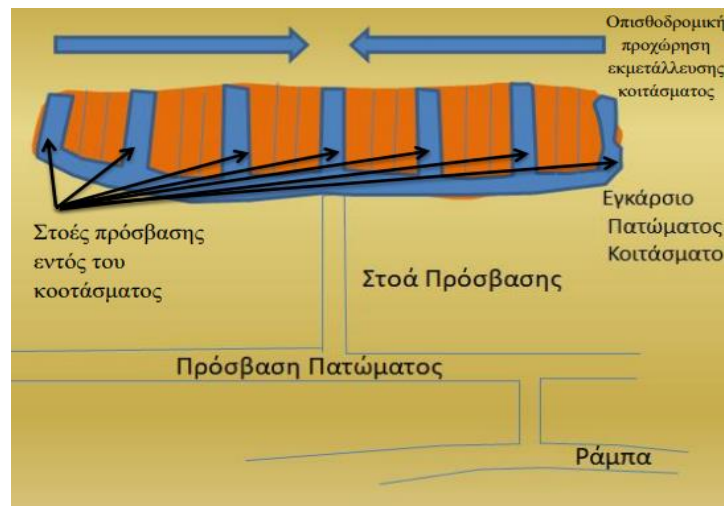
Σχήμα 2.7: Στοά πρόσβασης στο κοίτασμα που εκτείνεται και εντός αυτού δίνοντας πρόσβαση από το δάπεδο στο ταβάνι (www.orykta.gr).

Η διαφορά αυτή οφείλεται λόγω του μεγάλου πάχους του κοιτάσματος και απαιτείται η δημιουργία άλλων δύο στοών πρόσβασης εντός του κοιτάσματος. Πιο συγκεκριμένα, την όρυξη της κύριας στοάς πρόσβασης που δίνει πρόσβαση από το δάπεδο του κοιτάσματος προς το ταβάνι αυτού, ακολουθεί η δημιουργία άλλων δύο δευτερευουσών στοών στο κέντρο του κοιτάσματος.

Έπειτα ξεκινάει η έναρξη της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος με τη βοήθεια δημιουργίας εγκάρσιων στοών, οι οποίες εκτείνονται δεξιά και αριστερά των δύο δευτερευουσών στοών, οι οποίες είναι κάθετες στο ταβάνι και στο δάπεδο. Οι στοές αυτές είναι παραγωγικές και ξεκινούν από το κοίτασμα και φτάνουν ως την κύρια στοά πρόσβασης. Στο τέλος κάθε παραγωγικής στοάς γίνεται η λιθογόμωση αυτή. Κατά την εξόφληση του κοιτάσματος η περιοχή αυτού θα λιθογομωθεί πλήρως (Εξαδάκτυλος, 2005).

Φακοειδή κοιτάσματα

Σε ένα φακοειδή κοίτασμα η εκμετάλλευση του μεταλλεύματος (Σχήμα 2.8) είναι διαφορετική από τις δύο προηγούμενες. Το φακοειδή κοίτασμα είναι περιορισμένης κατακόρυφης και οριζόντιας ανάπτυξης και έχει σχήμα ελλειψοειδούς (Εξαδάκτυλος, 2005). Την στοά πρόσβασης σε κάθε φακό ακολουθεί η δημιουργία μιας εγκάρσιας στοάς στο πάτωμα του κοιτάσματος. Με τη βοήθεια αυτής της στοάς δημιουργούνται στοές πρόσβασης εντός του κοιτάσματος όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, που έχουν οπισθοδρομική κατεύθυνση για κάθε φακό μέχρι να πλησιάσουν στο κέντρο του κοιτάσματος. Μετά από την λιθογόμωση, από την κάθε πρόσβαση δημιουργείται άλλη διπλανή πρόσβαση (www.orykta.gr).



Σχήμα 2.8: Η εκμετάλλευση φακοειδούς κοιτάσματος (www.orykta.gr).

2.6. Σχεδιασμός Μεταλλείου

Από την στιγμή που γίνεται γνωστή η σύσταση και η γεωλογία του κοιτάσματος ξεκινάει ο σχεδιασμός της εκμετάλλευσης του υπόγειου μεταλλείου. Ο σχεδιασμός αυτός διακρίνεται σε μακροπρόθεσμος και βραχυπρόθεσμος. Ο μακροπρόθεσμος

σχεδιασμός αναφέρεται σε πενταετές (5 έτη), τριετές (3 έτη), ετήσιος (1 έτος), εξαμηνιαίος (6 μήνες), ενώ ο βραχυπρόθεσμος σε μηνιαίος (1 μήνας) και εβδομαδιαίος (1 εβδομάδα) σχεδιασμός (Τεχνική Μελέτη, 2011).

2.6.1. Βασικοί Παράγοντες του Σχεδιασμού

Στο γεωλογικό μοντέλο βασίζεται ο σχεδιασμός ενός ορυχείου, το οποίο δίνεται από τις συνεχόμενες γεωλογικές έρευνες. Το μοντέλο αυτό προσπαθεί να επιτευχθούν οι ελάχιστες απαιτήσεις βάσει των τεchnικοοικονομικών δεδομένων της κάθε εταιρείας, ώστε αυτή να είναι βιώσιμη. Κατά τον σχεδιασμό εισάγονται δεδομένα που αναφέρονται σε τεχνικά ζητήματα, δηλαδή των εργασιών όπως για μηχανήματα, προσωπικό δυναμικό, ροή εργασιών κλπ. (ΚΜΛΕ, 2011).

2.6.2. Μοντέλο Σχεδιασμού στο Μεταλλείο Ολυμπιάδας

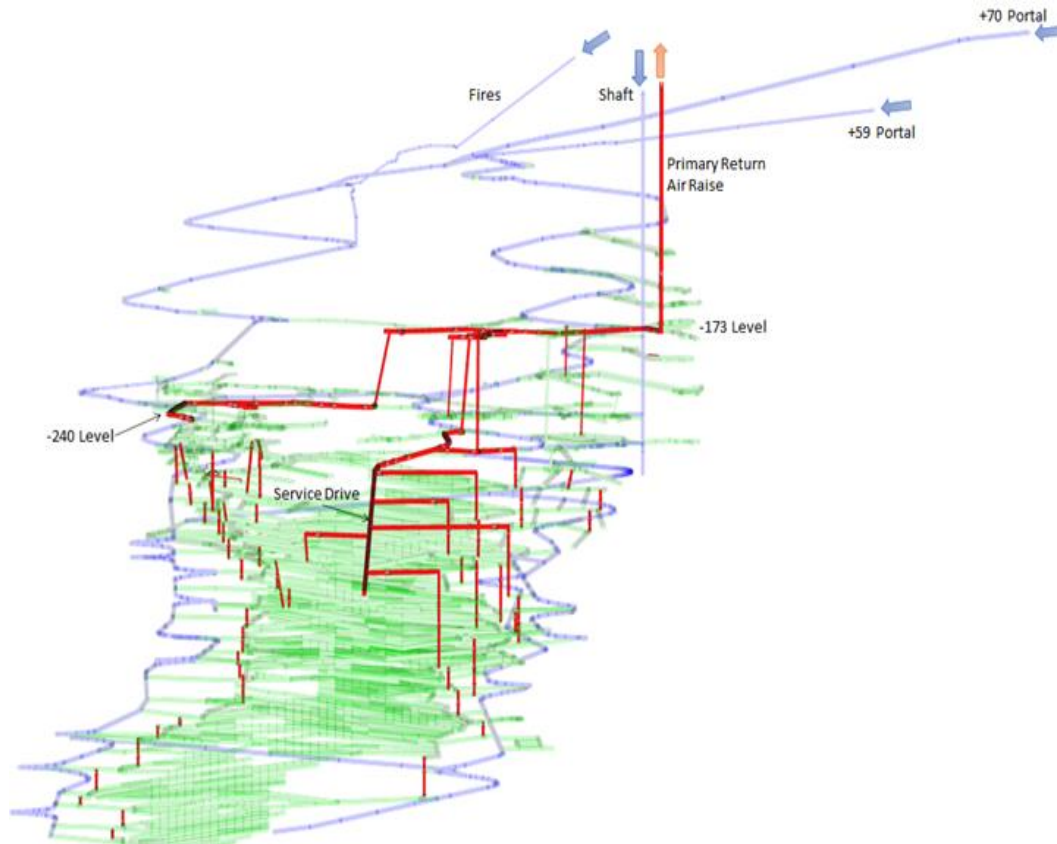
Το μεταλλείο της Ολυμπιάδας χρησιμοποιεί το λογισμικό σχεδιασμού 'Deswik'. Το πρόγραμμα αυτό είναι πρόγραμμα σχεδιασμού μεταλλείου και προγραμματισμού του συστήματος. Το Deswik χρησιμοποιείται είτε μόνο του είτε σε συνδυασμό με άλλα λογισμικά σχεδίασης αυξάνοντας έτσι την ευελιξία του. Στο λογισμικό αυτό χρησιμοποιούνται και δεδομένα που σχετίζονται με τα οικονομικά στοιχεία της παραγωγής, όπως ο όγκος εξορυσσόμενου υλικού και η ποιότητα αυτού (ΜΠΕ, 2010).

2.7. Μηχανισμός Κυκλώματος Αερισμού

Ο μηχανισμός Life Of Mine (LOM) του κυκλώματος αερισμού του μεταλλείου Ολυμπιάδας αποτελείται από δύο ανεμιστήρες των 1000 KW σε παράλληλη διάταξη στην επιφάνεια και υποστηρίζει την τρέχουσα προσέγγιση πρωτογενούς αερισμού ως μυζητικό σύστημα. Ο καθαρός αέρας εισάγεται στην περιοχή των ραμπών πρόσβασης, του πηγαδιού και του φυρέ και εξέρχεται από το κυρίως καμινέτο στην επιφάνεια. Σε αυτό το κυρίως καμινέτο αερισμού βρίσκονται οι ανεμιστήρες απαγωγής και παρέχουν την πίεση, ώστε να αποβάλουν τον αέρα από το σύστημα υπόγειας εκμετάλλευσης του μεταλλείου Ολυμπιάδας.

Το κύκλωμα αερισμού σχεδιάστηκε έτσι ώστε να διαχωρίζονται με ασφάλεια, το εισερχόμενο ρεύμα καθαρού αέρα από το εξερχόμενο, σύμφωνα με το άρθρο 76 §1 του ΚΜΛΕ: «Κυκλώματα, εγκαταστάσεις και δίκτυα αερισμού». Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει συνολικά το σύστημα αερισμού του μεταλλείου Ολυμπιάδας. Στο σχήμα παρουσιάζονται οι μπλε αεραγωγοί, οι οποίοι αντιστοιχούν την διανομή καθαρού

αέρα στον υπόγειο μεταλλείο και οι κόκκινοι αεραγωγοί τον αέρα, επιστροφής αέρα από όλα τα μέτωπα στην επιφάνεια (Technical Report ,2019).



Σχήμα 2.9: Σύστημα Αερισμού.

2.7.1. Μηχανισμός Αερισμού του μεταλλείου Ολυμπιάδας

2.7.1.1 Διανομή του Αέρα

Ο καθαρός αέρας εισέρχεται μέσω των ραμπών πρόσβασης, όπου και μεταφέρεται και στην Δυτική και στην Ανατολική ράμπα προς τις αντίστοιχες περιοχές εξόρυξης, ανάλογα με τις δραστηριότητες. Κατά την ολοκλήρωση των διεργασιών εξόρυξης σε κάθε επίπεδο, τα επίπεδα αυτά θα σφραγιστούν για να διασφαλιστεί ότι η διαρροή αέρα ελαχιστοποιείται και παραμένει η παροχή καθαρού αέρα στα βαθύτερα επίπεδα.

Η σωστή διαχείριση του συστήματος διανομής υπόγειου αερισμού, εξασφαλίζει ότι ο καθαρός αέρας προωθείται στο ορυχείο με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζει τη διατήρηση της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων. Για τον έλεγχο και την

αναδιανομή της ροής χρησιμοποιούνται οι ρυθμιστές για κάθε επίπεδο και βρίσκονται στις προσβάσεις επιστροφής αέρα.

Ένας σταθερός όγκος αέρα εξέρχεται από τις εργασίες εξόρυξης τόσο στην Ανατολική όσο και στη Δυτική πλευρά του κοιτάσματος της Ολυμπιάδας. Το επίπεδο -240 είναι ένας αρχικός παράγοντας συλλογής για τον αέρα που επιστρέφει από τη Δυτική περιοχή.

Η στοά “Service Drive” χρησιμοποιείται ως πλατφόρμα διατρήσεων για την οριοθέτηση του κατώτερου οριζόντιου κοιτάσματος (Flats), το οποίο ξεκινά από το επίπεδο -270 και κατευθύνεται νότια. Η στοά αυτή σχεδιάστηκε ώστε να είναι ο ορίζοντας συλλογής αέρα επιστροφής κυρίως από την Ανατολική περιοχή. Στο επίπεδο -173 καταλήγουν όλα τα καμινέτα καυσαερίων για την τελική έξοδό τους στην επιφάνεια, μέσω του κυρίως καμινέτου αερισμού.

Όταν το σχέδιο του μεταλλείου χρειάζεται αλλαγές στη ροή του αέρα λόγω αλλαγής υπόγειων διεργασιών, οι ανεμιστήρες απαγωγής μεταβάλλονται μέσω της εφαρμογής Variable-Frequency Drive (VFDs), με αποτέλεσμα να μπορεί να επιτευχθεί ο απαιτούμενος όγκος αέρα (ΜΠΕ, 2011).

2.7.1.2. Κύριο Σύστημα Απαγωγής Αέρα

Με βάση τη στρατηγική για το LOM του κυκλώματος αερισμού στο μεταλλείο Ολυμπιάδας, το κύκλωμα αυτό μπορεί να αλλάζει ανάλογα με τον τύπο των δραστηριοτήτων και τη θέση τους στο γενικό σύνολο του μεταλλείου. Οι ανεμιστήρες που έχουν υπολογισθεί είναι σε θέση να παρέχουν τους όγκους ροής που απαιτούνται, καθώς και τις πιέσεις σε όλο το φάσμα των συνθηκών λειτουργίας. Επίσης, επιτρέπουν σε οποιαδήποτε έκτακτη ανάγκη να πληρούνται οι συνθήκες εκείνες, οι οποίες θα επιτρέψουν προσωρινές διακυμάνσεις στη ζήτηση ροής του αέρα.

Οι επιλεγμένοι κύριοι ανεμιστήρες φτάνουν τη συνολική ροή του αέρα σε ένα βασικό σημείο λειτουργίας LOM, δηλαδή τα 420 m³/s, όταν οι διεργασίες του μεταλλείου εκτελούνται στα βαθύτερα επίπεδά του, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.2. Η τρέχουσα κατάσταση του μεταλλείου για τον αερισμό αποτελείται από δύο κύριους ανεμιστήρες (δύο ανεμιστήρες σε παράλληλη διάταξη). Στην περίπτωση όπου κάποιος ανεμιστήρας σταματήσει να λειτουργεί, ο άλλος ανεμιστήρας θα μπορεί να διατηρήσει μία ροή αέρα για τις υπόγειες διεργασίες (Technical Report , 2019).

Πίνακας 2.2: Βασικές απαιτήσεις αερισμού. Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμιστήρων.

Περίοδο	Παράμετρος	Μονάδες	Σύνολο	Ανά Ανεμιστήρα
LOM	Ροή αέρα	m ³ /s	420	210
	Πίεση	Pa	3420	3420
	Κατανάλωση αέρα	kW	1890	945
	Πιθανό μέγεθος μηχανής*	kW	-	1000

2.8 Αερισμός μεταλλείου Ολυμπιάδας (τρέχουσα κατάσταση)

Λαμβάνοντας υπόψη τα όσα ορίζονται στον Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ) (άρθρα 22, 58, 75-78), για την επιλογή του βέλτιστου συστήματος αερισμού των υπογείων μετώπων εργασίας:

- Εφαρμόζεται φυσητικό σύστημα αερισμού με χρήση εύκαμπτων αγωγών προσαγωγής του αέρα. Ο αέρας που εισάγεται είναι σε κάθε περίπτωση απαλλαγμένος από κάθε μόλυνση, σκόνη και καπνούς και για το σκοπό αυτό η θέση λήψης του αέρα βρίσκεται σε ικανή απόσταση, 30m περίπου, από το στόμιο της στοάς.
- Η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο είναι ίση ή μεγαλύτερη του 19,5% σε όγκο. Η σύσταση του αέρα σε όλα τα υπόγεια έργα, πληροί ποιοτικά και ποσοτικά τους όρους που είναι απαραίτητοι για την ασφάλεια και υγιεινή των εργαζόμενων και η συγκέντρωση αερίων, ατμών, σκόνης κλπ. δεν θα υπερβαίνει τα επιτρεπτά όρια.
- Εκτελούνται συχνές μετρήσεις για τον έλεγχο των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων κονιορτών και των επικίνδυνων αερίων (κυρίως αυτών που εκπέμπονται από τις μονάδες του ντιζελοκίνητου εξοπλισμού). Ελέγχεται η ποσότητα και ποιότητα του παρεχόμενου καθαρού αέρα σε όλα τα μέτωπα τουλάχιστον μία φορά κάθε 15 ημέρες ή συχνότερα, ανάλογα με τις υφιστάμενες συνθήκες. Επίσης εκτελείται τακτικά έλεγχος των αρμών των αεραγωγών για διαρροές και οποιαδήποτε βλάβη διαπιστώνεται θα

αποκαθίσταται αμέσως.

- Η σύσταση του αέρα (περιλαμβανομένης της εξόδου) συμμορφώνεται με τα όρια και των λοιπών επιβλαβών συστατικών (περιλαμβανομένης της σκόνης) του αρ. 22 του ΚΜΛΕ. Κατά το αρ. 76, παρ. 4 του ιδίου κανονισμού, επειδή πρόκειται για μεταλλείο πυριτών ελέγχονται και οι συγκεντρώσεις υδροθείου.
- Όλες οι μετρήσεις ελέγχου ποιότητας αέρα των υπογείων έργων καταχωρούνται στο ειδικό βιβλίο του αρ. 24 του ΚΜΛΕ.
- Η ταχύτητα του εισερχόμενου ρεύματος αέρα, ρυθμίζεται κατάλληλα, ώστε να συντελεί στην αποτελεσματική ανανέωση του αέρα στις θέσεις εργασίας, στη διατήρηση της θερμοκρασίας και υγρασίας σε επιτρεπόμενα όρια, αλλά και στην αποφυγή δημιουργίας κονιορτού. Η ταχύτητα του εισερχόμενου ρεύματος αέρα δεν πρέπει να ξεπερνάει, σε κάθε θέση εργασίας, τα 6 m/sec. Επίσης, η ταχύτητα του αέρα δεν είναι σε καμία θέση εργασίας μικρότερη από 0,1 m/sec.
- Διενεργείται ικανοποιητικός αερισμός του μετώπου για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 30 λεπτών έπειτα από την πυροδότηση διατρημάτων, ώστε να επιτυγχάνεται αραίωση των παραγόμενων αερίων σε συγκεντρώσεις κατώτερες των ανωτέρων επιτρεπομένων ορίων, όπως ορίζονται στον ΚΜΛΕ.
- Εφ' όσον απαιτείται, λαμβάνεται ειδική μέριμνα για την προστασία των εργαζομένων από αιωρούμενους κονιορτούς, αέρια, ατμούς και καπνούς με χρήση π.χ. προσωπίδων.
- Κατά τη διάρκεια πυροδοτήσεως των διατρημάτων και μέχρις απαγωγής των καπνών και επίτευξης ασφαλούς ατμόσφαιρας ουδεμία ντιζελοκίνητη μηχανή δεν λειτουργεί εντός της σήραγγας.
- Τέλος, σχετικά με την παροχή αέρα, ο ΚΜΛΕ προβλέπει τουλάχιστον 5,66m³/min ανά εργαζόμενο και 2,3m³/min ανά ίππο (HP) μηχανής Diesel.

Ο αερισμός των υπόγειων έργων στο Μεταλλείο Ολυμπιάδας γίνεται με φυσικό αλλά και με τεχνητό τρόπο (με χρήση ανεμιστήρων), ο αέρας ανακυκλώνεται μέσα από τα καμινέτα, λόγω της έλλειψης ουσιώδους υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των κύριων έργων προσπέλασης (ΜΠΕ, 2018).

2.9 Μέτωπα που επιλέχθηκαν για τις μετρήσεις των παραμέτρων ποιότητας του αέρα

Επιλέχθηκαν δύο μέτωπα, το ανατολικό -132 και το δυτικό -230_1, όπου ο αερισμός των μετώπων γίνεται με φυσικό τρόπο, λαμβάνοντας υπόψιν τις διατομές των στοών με τις αντίστοιχες ταχύτητες του αέρα. Στα παρακάτω σχήματα 2.10 και 2.1 παρουσιάζονται τα δύο μέτωπα. Τα μέτωπα που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των αερίων ήταν πλήρως παραγωγικά από τον κύκλο εργασιών της υπόγειας εξόρυξης του μεταλλείου. Οι μετρήσεις έγιναν σε συνεργασία με το τμήμα Υγιεινής και Ασφάλειας της εταιρείας.

Τα μέτωπα που επιλέχθηκαν είναι παραγωγικά και το εξορυσσόμενο μέταλλευμα οδηγείται στο εργοστάσιο εμπλουτισμού και παράγεται το συμπύκνωμα γαληνίτη, σφαλερίτη και πυρίτη/αρσеноπυρίτη με επίπλευση. Η τυπική χημική σύσταση του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος για τα μέτωπα που επιλέχθηκαν είναι:

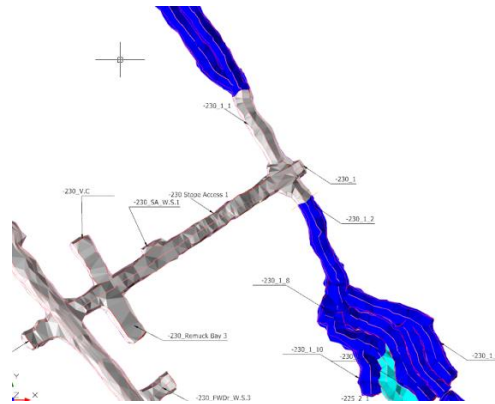
Μέτωπο-132:

- Χρυσός (Au) 8,3 gr/tn
- Μόλυβδος (Pb) 7,5%
- Ψευδάργυρος (Zn) 10,3%
- Θείο (S) 25%
- Άργυρος (Ag) 150 gr/tn
- Αρσενικό (As) 3,4 %
- Χαλκός (Cu) 560 gr/tn
- Ασβέστιο (Ca) 2,05%
- Αντιμόνιο (Sb) 0,038%
- Σίδηρος (Fe) 15,6%

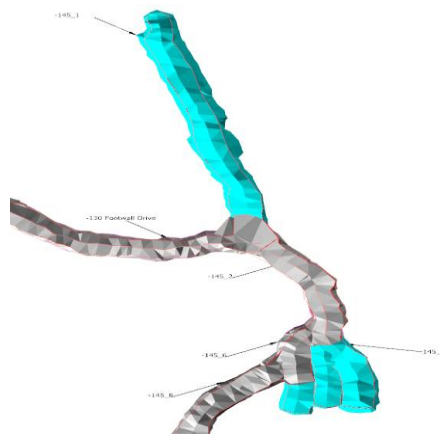
Μέτωπο -230_1:

- Χρυσός (Au) 6,2 gr/tn
- Μόλυβδος (Pb) 7,6%
- Ψευδάργυρος (Zn) 11,2%
- Θείο (S) 23,2 %
- Άργυρος (Ag) 183 gr/tn
- Αρσενικό (As) 2,1%
- Χαλκός (Cu) 443 gr/tn
- Ασβέστιο (Ca) 2,06%
- Αντιμόνιο (Sb) 0,041%

- Σίδηρος (Fe) 17,2%



Σχήμα 2.10: Το δυτικό μέτωπο 230_1.



Σχήμα 2.11: Το ανατολικό -132 ή αλλιώς το -145_2.

2.10. Χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού στα επιλεγέντα μέτωπα

Επιλέχθηκαν δύο μέτωπα, το ανατολικό -132 και το δυτικό -230_1, όπου ο αερισμός των μετώπων γίνεται με φυσικό τρόπο. Λαμβάνοντας υπόψιν τις διατομές των στοών με τις αντίστοιχες ταχύτητες του αέρα, πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις στα αέρια. Τα μέτωπα που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των αερίων ήταν πλήρως παραγωγικά από τον κύκλο εργασιών της υπόγειας εξόρυξης του μεταλλείου. Ο κύκλος εργασιών αποτελείται από τις εργασίες: διάτρηση, γόμωση-ανατίναξη, απομάκρυνση επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα), μεταφορά, υποστήριξη με χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (gunite) και ήλωση. Ο τρόπος λήψης των μετρήσεων γινόταν από ασφαλή σημεία κοντά

στο μέτωπο και δίπλα στους εργαζομένους και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνταν στις σχετικές εργασίες.

Στους πίνακες 2.3 και 2.4 παρουσιάζονται τα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες φάσεις της εκμετάλλευσης στο ανατολικό και δυτικό μέτωπο (-132m και -230_1m) κατά τη διάρκεια λήψης των μετρήσεων των παραμέτρων ποιότητας του αέρα.

Πίνακας 2.3: Εκτελούμενες εργασίες και χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός στο ανατολικό μέτωπο (-132m).

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΤΥΠΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	ΙΣΧΥΣ (KW)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ (m ³ /min)
ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΕΠΙΣΦΑΛΩΝ ΟΓΚΩΝ (ΞΕΣΚΑΡΩΜΑ)	ΤΣΑΠΑ LIEBHERR A900 (Δράκος)	139.65	325.45
ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (GUNITE) ΓΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΣΤΟΑΣ	HURON-5 (Βαρέλα)	199.5	464.8
	PUTZMEISTER SIKKA 4210 WETKRET (Πρέσα)	76.475	178.2
ΓΟΜΩΣΗ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ	ΑΝΥΨΩΤΙΚΟ ATLAS COPCO LIFTEC UV2 (Ανυψωτικό)	159,6	371,9
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΚΟΧΛΙΩΣΗ	SANDVIK DD321-40C (2 BOOMS) (Διατρητικό)	146,3	340, 9
ΔΙΑΤΡΗΣΗ	SANDVIK DD321-40C (2 BOOMS) (Διατρητικό)	146,3	340, 9

Η παροχή του συγκεκριμένου μετώπου υπολογίστηκε 952,56 m³/min. Παρατηρείται ότι καμία από τις παραπάνω τιμές για την ποσότητα αέρα που απαιτείται για τα μηχανήματα δεν ξεπερνάει την παροχή του -132. Να σημειωθεί ότι τα μηχανήματα της πρέσας, της υποστήριξης και της διάτρησης λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια. Κατευθύνονται προς το μέτωπα με ντιζελοκίνητη λειτουργία, τοποθετούνται μπροστά από τα μέτωπα, σβήνουν την μηχανή τους και συνδέονται στη συνέχεια στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας του ορυχείου με την βοήθεια των εργαζομένων. Με την αλλαγή αυτή στη λειτουργία του εξοπλισμού το μέτωπο δεν επιβαρύνεται με καυσαέρια.

Πίνακας 2.4: Εκτελούμενες εργασίες και χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός στο δυτικό μέτωπο (-230_1m)

ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ	ΤΥΠΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ	ΙΣΧΥΣ (KW)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ (m ³ /min)
ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΕΠΙΣΦΑΛΩΝ ΟΓΚΩΝ (ΞΕΣΚΑΡΩΜΑ)	ΤΣΑΠΑ LIEBHERR A900 (Δράκος)	140	325,4
ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (GUNITE) ΓΙΑ ΥΠΟΣΤΡΙΞΗ ΣΤΟΑΣ	NORMET VARIOMEC LF700 (βαρέλα)	223	520,6
	PUTZMEISTER SIKKA 4210 WETKRET (Πρέσα)	76	178,2
ΓΟΜΩΣΗ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΩΝ	ΑΝΥΨΩΤΙΚΟ ATLAS COPCO LIFTEC UV2	160	371,9
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΚΟΧΛΙΩΣΗ	SANDVIK DD321-40C (2 BOOMS) (Διατρητικό)	146	340, 9
ΔΙΑΤΡΗΣΗ	ATLAS COPCO M2D (2 BOOMS) (Διατρητικό)	153	356,4

Η παροχή του συγκεκριμένου μετώπου μετρήθηκε σε 1688,6 m³/min και παρατηρείται ότι είναι κατά πολύ μεγαλύτερη των ελάχιστων απαιτούμενων για τις διάφορες εργασίες που εκτελούνται στο μέτωπο -230_1 (υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις).

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία μετρήσεων και επεξεργασίας

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη συσχέτιση της ποιότητας του αέρα με τις δραστηριότητες των μετώπων σε υπόγειες εξορυκτικές δραστηριότητες της Ελληνικός Χρυσός, στο μεταλλείο της Ολυμπιάδας περιελάμβανε:

- Επί τόπου μετρήσεις επιλεγμένων κρίσιμων παραμέτρων ποιότητας του αέρα (O_2 , H_2S , NO , NO_2 , CO , CO_2 καθώς και σκόνης και σωματιδίων DPM) ανά 15 λεπτά καθ' όλη τη διάρκεια της βάρδιας.
- Καταγραφή των δραστηριοτήτων της εκμετάλλευσης στο μέτωπο, του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, των διατομών των στοών και της ταχύτητας του αέρα και των μικροκλιματικών παραγόντων (θερμοκρασία, υγρασία).
- Επεξεργασία μετρήσεων των παραμέτρων ποιότητας του αέρα, υπολογισμός της μέσης χρονικά σταθμισμένης τιμής του οκταώρου και σύγκριση με τα αντίστοιχα όρια που προβλέπονται από τους κανονισμούς. Στη φάση αυτή έγινε επίσης έλεγχος των απαιτήσεων παροχής αέρα στο μέτωπο, λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των εργαζομένων και τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό.
- Συσχέτιση των μετρήσεων (μέσης χρονικά σταθμισμένης τιμής του οκταώρου και μετρήσεις βραχείας διάρκειας -15min) με τις δραστηριότητες εκμετάλλευσης, τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό ανά μέτωπο.

3.1. Λήψη μετρήσεων

3.1.1 Μετρήσεις αερίων

Όπως προαναφέρθηκε, οι μετρήσεις έγιναν σε συνεργασία με το τμήμα Υγιεινής και Ασφάλειας της εταιρείας. Αρχικά, επιλέχθηκαν δύο μέτωπα, το ανατολικό -132 και το δυτικό -230_1, όπου ο αερισμός των μετώπων γίνεται με φυσικό τρόπο. Λαμβάνοντας υπόψιν τις διατομές των στοών με τις αντίστοιχες ταχύτητες του αέρα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα παρακάτω αέρια: O_2 , H_2S , NO , NO_2 , CO , CO_2 , με το όργανο άμεσης μέτρησης Dragger x-am 5600 (Σχήμα 3.1). Το συγκεκριμένο όργανο είναι εύκολο στη χρήση του και λαμβάνει και αποθηκεύει συνεχόμενες μετρήσεις και όταν κάποιο από τα μετρούμενα αέρια ξεπεράσει το όριο που έχει ρυθμιστεί με βάση τα όρια τον ΚΜΛΕ, δονείται και βγάζει έναν χαρακτηριστικό ήχο για προειδοποίηση. Η εταιρία έχει ορίσει όρια μικρότερα του κανονισμού για μεγαλύτερη ασφάλεια.



Σχήμα 3.1: Όργανο μέτρησης των αερίων τύπου Dragger x-am 5600.

Τα μέτωπα που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των αερίων ήταν πλήρως παραγωγικά από τον κύκλο εργασιών της υπόγειας εξόρυξης του μεταλλείου. Ο τρόπος λήψης των μετρήσεων γινόταν από ασφαλή σημεία (κοντά στο μέτωπο και δίπλα στους εργαζομένους και τα μηχανήματα). Η λήψη της πρώτης μέτρησης γινόταν πριν ξεκινήσει η κάθε εργασία για να εκτιμηθεί η τιμή υποβάθρου της συγκεκριμένης παραμέτρου. Στη συνέχεια ακολουθούσε η δεύτερη μέτρηση κατά τη διάρκεια της εργασίας. Έπειτα καταγραφόταν μετρήσεις για βραχεία έκθεση, διάρκειας 15 λεπτών.

Εκτός από τις μετρήσεις των αερίων λήφθηκαν και μετρήσεις για την υγρασία και την θερμοκρασία με την ίδια διαδικασία, με το όργανο Kestrel 5700 (kestrelmeters.com) (Σχήμα 3.2). Είναι ένα όργανο, το οποίο μετράει και καταγράφει τη ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου, τη θερμοκρασία, την υγρασία, τον δείκτη θερμότητας, την πίεση και το υψόμετρο. Η τιμή του δείκτη θερμοκρασίας υγρασίας (Δ.Θ.Υ) υπολογίστηκε από τον τύπο $\Delta.Θ.Υ. (^{\circ}C) = T_{\sigma} * 0,3 + T_{\psi} * 0,7$, όπου T_{σ} είναι η θερμοκρασία του σφαιρικού θερμομέτρου σε βαθμούς Κελσίου και T_{ψ} είναι η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου σε βαθμούς Κελσίου.



Σχήμα 3.2: Όργανο μέτρησης των μικροκλιματικών παραμέτρων τύπου Kestrel 5700-30.

3.1.2 Μετρήσεις σκόνης

Λήφθηκαν μετρήσεις για την αιωρούμενη σκόνη με το όργανο TSI DUST TRACK (Σχήμα 3.3). Το όργανο αυτό είναι ένα φωτόμετρο λέιζερ μονού καναλιού, με δυνατότητα καταγραφής δεδομένων, είναι φορητό και δίνει μετρήσεις μάζας αερολύματος σε πραγματικό χρόνο έχει μεγάλη αξιοπιστία και απαιτεί μικρή συντήρηση. Έχει εύρος μέτρησης συγκέντρωσης αερολύματος 0,001 έως 150 mg/m³ (tsi.com). Το συγκεκριμένο όργανο δόθηκε στους χειριστές, ρυθμίστηκε έτσι ώστε να καταγράφει μέτρηση κάθε 10 δευτερόλεπτα μέσα από την καμπίνα του μηχανήματος, όπου είναι ο εργασιακός χώρος του χειριστή. Υπολογίστηκαν οι μετρήσεις της συγκέντρωσης της σκόνης ανά 15 λεπτά, όπως και στους υπόλοιπους βλαπτικούς παράγοντες που μετρήθηκαν.



Σχήμα 3.3: Όργανο μέτρησης της συγκέντρωσης της σκόνης τύπου TSI DUST TRACK.

Εκτός από τις άμεσες μετρήσεις της σκόνης με τη χρήση του οργάνου TSI Dust Track λαμβάνονται μετρήσεις και με την έμμεση, βαρυτομετρική μέθοδο με χρήση ειδικών φίλτρων και αντλιών αέρα. Τα φίλτρα τοποθετούνται στις φιλτροθήκες και στην συνέχεια μπαίνουν σε ένα κλίβανο ώστε να ξηρανθούν για 48 ώρες. Μόλις ξηραθούν ζυγίζονται σε ζυγαριά ακρίβεια 5 δεκαδικών, μπαίνουν μέσα σε κεφαλές και κουμπώνονται στην αντλία. Όταν τελειώσει η μέτρηση ξαναζυγίζονται. Η διαφορά στην ζύγιση, είναι η σκόνη που βρίσκεται στο φίλτρο. Με βάση αυτό και τον όγκο του αέρα υπολογίζουμε τη συγκέντρωση της σκόνης για το εσπνεύσιμο και το αναπνεύσιμο κλάσμα. Εάν για κάποια φίλτρα προκύπτουν συγκεντρώσεις κοντά στο ανώτατο όριο, τότε τα φίλτρα στέλνονται σε εξωτερικό εργαστήριο για τον προσδιορισμό του κρυσταλλικού διοξειδίου του πυριτίου. Αν είναι υψηλές οι τιμές της συγκέντρωσης της σκόνης αλλάζει το όριο με βάση την περιεκτικότητα του κρυσταλλικού διοξειδίου του πυριτίου, αλλάζουν όμως και τα φίλτρα ανάλογα το όριο και επιλέγονται φίλτρα MS ή Fiberglass.

3.1.3 Μετρήσεις DPM

Στο ορυχείο της Ολυμπιάδας μετρώνται και τα σωματίδια (DPM) που προέρχονται από την καύση του πετρελαίου κίνησης (ντίζελ) από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Οι εργαζόμενοι στα υπόγεια ορυχεία μπορούν να εκτεθούν σε υψηλές συγκεντρώσεις DPM πολύ περισσότερο από ότι σε άλλες εργασίες. Οι μετρήσεις για τα σωματίδια DPM έγιναν με δειγματοληψία αέρα και χρήση ειδικών φίλτρων συγκράτησης των DPM. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν αντλίες Gilan Gilair 5, φίλτρα MCE Φ25 και MicroFiber Glass Φ37 (Σχήμα 3.4). Χρησιμοποιήθηκαν υποδοχείς φίλτρων με κυκλώνα Door Oliver.



Σχήμα 3.4: Όργανο Gilan Gilair 5.

Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται δεν χρειάζονται να ανοιχθούν και να ζυγιστούν αρχικά αφού έρχονται σε ειδική συσκευασία (φιλτροκασσέτα) προζυγισμένα. Χρησιμοποιείται το αιθαλόμετρο, το οποίο χρησιμοποιεί το υπέρυθρο φάσμα IR (infrared) και στο υπεριώδες UV (Ultraviolet) για να υπολογίσει τις συγκεντρώσεις των BC και PAH. Η μέτρηση της συγκέντρωσης βασίζεται στην απορρόφηση της ακτινοβολίας που εξαρτάται κυρίως από τον μαύρο άνθρακα (BC), ο οποίος είναι καλός δείκτης πηγών εκπομπής καύσης. Η αρχή λειτουργίας του αιθαλόμετρου βασίζεται στη συνεχή μέτρηση της εξασθένισης μιας ακτίνας φωτός που διέρχεται μέσω ενός φίλτρου. Με σταθερή ταχύτητα ρεύματος αέρα, το ποσοστό απόθεσης μαύρου άνθρακα πάνω στο φίλτρο είναι ανάλογο της συγκέντρωσής του στο αεροζόλ και αυτό έχει ως αποτέλεσμα και μια σχετική αύξηση του ποσοστού της οπτικής εξασθένισης. Η μεταβολή του ποσοστού αυτού αποτελεί και τη βάση της μεθόδου. Τα σωματίδια αεροζόλ παραμένουν επάνω στο φίλτρο κι είναι διαθέσιμα για περαιτέρω ανάλυση με άλλες μεθόδους. Μερικά από τα αποτελέσματα των αναλύσεων της συγκεκριμένης διαδικασίας χρησιμοποιούνται για τη βαθμονόμηση του οργάνου. Η εταιρία Ελληνικός Χρυσός έχει ορίσει ως ανώτερο επιτρεπόμενο όριο τα 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.1.4 Μετρήσεις μικροκλιματικών παραγόντων

Σε ένα εργασιακό χώρο, η μορφή και το είδος της εργασίας σε συνάρτηση με τις θερμικές συνθήκες του εργασιακού χώρου, προσδιορίζουν τις θερμικές ανταλλαγές μεταξύ περιβάλλοντος και ανθρώπου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να καθορίζεται η θερμική κατάσταση του ανθρώπινου οργανισμού. Οι επιβαρυνόμενοι θερμικά εργασιακοί χώροι έχουν επιπτώσεις στη σωματική και ψυχική υγεία, με την εξάντληση και κόπωση των φυσιολογικών μηχανισμών θερμορύθμισης του οργανισμού. Αυτό δεν συμβάλλει μόνο στην εμφάνιση συγκεκριμένων επαγγελματικών νοσημάτων, αλλά περιορίζει σημαντικά και την ικανότητα του εργαζόμενου να αντιδράσει σωστά στα εξωτερικά ερεθίσματα ή να παρακολουθήσει σύνθετες διαδικασίες, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται εκείνες οι προϋποθέσεις που οδηγούν στα εργατικά ατυχήματα. Για να προσδιοριστούν οι συνθήκες της θερμικής άνεσης έγινε επεξεργασία και καθιέρωση των μικροκλιματικών δεικτών. Όπως ήδη έχει αναφερθεί ο δείκτης WBGT εκφράζει τη θερμική καταπόνηση στην οποία υποβάλλεται ο εργαζόμενος που εκτίθεται σε ένα πολύ θερμό υπαίθριο εργασιακό περιβάλλον. Σε ένα υπόγειο μεταλλείο μετριέται και η υγρασία, η οποία αποτελείται από το ποσοστό κορεσμού του ατμοσφαιρικού αέρα σε υδρατμούς και σχετίζεται με την θερμοαποβολή που διενεργείται δια μέσου της εξάτμισης του ιδρώτα (Γαλετάκης, 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Επεξεργασία μετρήσεων – αποτελέσματα

4.1 Μετρήσεις των παραμέτρων ποιότητας αέρα-μικροκλιματικών παραγόντων

Στον πίνακα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις στο ανατολικό μέτωπο -132. Ο πίνακας περιέχει τις τιμές των αερίων που μετρήθηκαν: O_2 , H_2S , NO , NO_2 , CO , CO_2 , καθώς και της σκόνης. Τα επιβλαβή αέρια που μετρήθηκαν παράγονται από την καύση των ντιζελοκίνητων μηχανημάτων εκτός από το H_2S το οποίο παράγεται από τα περιβάλλοντα πετρώματα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για τις εργασίες: ξεσκάρωμα, εφαρμογή εκτοξευμένο σκυρόδεμα, γόμωση και διάτρηση. Ο χρόνος κάθε μέτρησης ήταν 15 λεπτά. Ο πίνακας περιέχει και την μέση τιμή (M.T) των μετρήσεων, η οποία είναι ο μέσος όρος που καταγράφηκε στη διάρκεια της κάθε εργασίας όταν αυτή είχε ξεκινήσει. Να σημειωθεί ότι τα μηχανήματα, SANDVIK DD321-40C (2 BOOMS) (Διατρητικό) και PUTZMEISTER SIKKA 4210 WETKRET (Πρέσα) είναι ηλεκτροκίνητα, οπότε δεν επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα του μεταλλείου. Τα υπόλοιπα μηχανήματα όπως ήδη προαναφέρθηκε με βάση την παροχή του αέρα που χρειάζονται και σε σύγκριση με την μετρηθείσα παροχή του μετώπου βρίσκεται εντός ορίων για κάθε μηχανήμα. Παρατηρείται ότι οι τιμές του H_2S είναι μηδέν, οπότε κατά τις εργασίες το περιβάλλον πέτρωμα δεν απελευθερώνει υδρόθειο. Όπως και το οξυγόνο είναι σταθερό καθ'όλη την διάρκεια των εργασιών. Η τιμή 20,9 είναι εντός ορίων με βάση τον ΚΜΛΕ. Το NO παράγεται κατά τη λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης. Στο ξεσκάρωμα εντοπίζεται μια σημαντική αύξηση κατά σχεδόν 12 φορές, από 0,70 αυξήθηκε στα 8,8 ppm. Αυτό οφείλεται, στις αυξομειώσεις της έντασης λειτουργίας του κινητήρα του μηχανήματος με αποτέλεσμα να παράγει μεγαλύτερη ποσότητα του μονοξειδίου του αζώτου. Στις εργασίες εκτόξευσης σκυροδέματος και γόμωσης παρατηρείται το ίδιο. Συγκεκριμένα στη γόμωση αυξάνεται επειδή λειτουργεί το ανυψωτικό που χρησιμοποιεί το καλάθι για την μετακίνηση των εργαζομένων που πραγματοποιούν την γόμωση των διατρημάτων. Για το NO_2 παρατηρείται μια σημαντική αύξηση κατά την εφαρμογή του εκτοξευμένου σκυροδέματος όπου φτάνει στα 3,7 ppm, η οποία όμως δεν υπερβαίνει το όριο. Στην εργασία αυτή λειτουργούν δύο μηχανήματα όπου το ένα μόνο από αυτά είναι ντιζελοκίνητο (HURON-5 (Βαρέλα)) και στο οποίο οφείλεται η παρατηρηθείσα αύξηση. Οι μετρήσεις της σκόνης είναι αυξημένες κατά τη διάρκεια της εργασίας του ξεσκάρωματος λόγω ότι ο χειριστής δεν έκανε ταυτόχρονα με το ξεσκάρωμα και διαβροχή του μετώπου.

		ΣΤΟΑ -132												26.10.20
No	Ωρα	Εργασίες	H ₂ S	O ₂	NO	M.T NO	CO ₂	M.T CO ₂	NO ₂	M.T NO ₂	CO	Dust	M.T Dust	Παρατηρήσεις
			ppm	%	ppm	ppm	%	(Vol %)	ppm	ppm	ppm	mg/m ³	mg/m ³	
1	15:30	ΞΕΣΚΑΡΩΜΑ	0	20,9	0,7		0,03		0		0	3,34		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
2	15:45	ΤΣΑΠΑ LIEBHERR A900 (136,65 HP)	0	20,9	8,6	8,70	0,15	0,15	0,4	0,40	0	4,96	5,68	
3	16:00	1 άτομο	0	20,9	8,8		0,15		0,4		0	6,41		
4	17:05	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΚΤΟΞΕΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	0	20,9	0,7		0,03		0		0	0,50	0,87	ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
5	17:20	HURON-5 (Βαρέλα) (199.5 HP)	0	20,9	7,7	4,15	0,04	0,05	3,7	2	0	0,35		
6	17:35	PUTZMEISTER SIKKA 4210 WETKRET (Πρέσα) / 3 άτομα	0	20,9	0,6		0,07		0,3		0	1,4		
7	7:55	ΓΟΜΩΣΗ	0	20,9	2,6		0,07		0		0	0,31		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
8	8:10	ΑΝΥΨΩΤΙΚΟ ATLAS COPCO LIFTEC UV2	0	20,9	13,3		0,04	0,09	0,3		0	0,38	1,95	
9	8:25	(159.6 HP)	0	20,9	12,6	11,7	0,08		0	0,1	0	4,34		
10	8:40	4 άτομα	0	20,9	9,2		0,09		0		0	1,15		
11	7:55	ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ	0	20,9	0		0,02		0		0	0,15		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
12	8:15	SANDVIK DD321-40C (2 BOOMS) (Διατρητικό)	0	20,9	1,8		0,04		0		0	0,16		
13	8:30		0	20,9	0	0,45	0,08	0,05	1,3	0,8	0	0,12	0,12	
14	8:45	2 άτομα	0	20,9	0		0,01		0		0	0,11		
15	9:00		0	20,9	0		0,07		1,9		0	0,10		
16	9:10	ΔΙΑΤΡΗΣΗ	0	21	2,6		0,07		0		0	0,10		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
17	9:25	SANDVIK DD321-40C (2 BOOMS) (Διατρητικό)	0	21	1	1,95	0,04		0		0	0,09		
18	9:40	2 άτομα	0	21	1,8		0,08	0,07	0	0	0	0,09	0,09	
19	9:55		0	21	2,6		0,08		0		0	0,09		
20	10:10		0	21	2,4		0,11		0		0	0,08		

Πίνακας: 4.1: Αποτελέσματα μετρήσεων παραμέτρων ποιότητας του αέρα ανατολικού πατώματος στο επίπεδο -132.

Το μηχάνημα που χρησιμοποιείται για την εργασία αυτή, πρέπει να συνδέεται με το δίκτυο νερού του μετώπου, ώστε να γίνεται η διαβροχή του μετώπου καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Η διαδικασία αυτή βοηθάει στο να μειωθεί η σκόνη που παράγεται από τέτοιες διαδικασίες.

Όλες οι τιμές επηρεάζονται και από το γεγονός ότι σε ένα υπόγειο μεταλλείο όπου δεν γίνεται ο αερισμός των μετώπων μόνο φυσικά, ο μολυσμένος αέρας των μετώπων μπορεί να μεταφέρεται από μέτωπο σε μέτωπο μέσω των ανεμιστήρων και έτσι να είναι ήδη επιβαρυνμένος σε ένα μέτωπο. Οι μετρήσεις εκτελέσθηκαν σε μέτωπα όπου ο αέρας γινόταν με φυσικό τρόπο αλλά υπήρχαν γειτονικά μέτωπα όπου ο αέρας γινόταν με τεχνητό τρόπο, με αποτέλεσμα ο αέρας να επηρεάζεται και από αυτό. Σε όλη την έκταση του μεταλλείου κινούνται φορτηγά, τα οποία επηρεάζουν τις τιμές των μετρήσεων στα μέτωπα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο φορτίο τους, αν είναι φορτωμένα και στην κλίση της διαδρομής. Η χρήση τέτοιων μηχανημάτων είναι πιθανό να παράγουν χημικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ατμόσφαιρα ενός ορυχείου. Οι μετρήσεις που καταγράφηκαν πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε διεργασία μπορεί να μην είναι όλες μηδέν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μέτωπο μπορεί να μην είχε αρκετό χρόνο να αεριστεί επαρκώς από την προηγούμενη εργασία και να ήταν ήδη επιβαρυνμένος. Επίσης, είναι πιθανό να υπήρχε κάποιο πρόβλημα με τους κεντρικούς ανεμιστήρες.

Εκτός των παραμέτρων ποιότητας του αέρα μετρήθηκαν και οι μικροκλιματικοί παράμετροι του εργασιακού χώρου του μετώπου -132. Στον πίνακα 4.2 δίνονται οι θερμοκρασίες του υγρού θερμομέτρου (T_u), του σφαιρικού θερμομέτρου (T_s), η σχετική υγρασία (RH) καθώς ο δείκτης θερμοκρασίας υγρασίας ($\Delta\Theta Y$) που υπολογίστηκε.

Οι τιμές της υγρασίας και θερμοκρασίας βρίσκονται εντός ορίων του ΚΜΛΕ. Στο μέτωπο -132 δεν παρατηρήθηκε κάποιο πρόβλημα με τον αερισμό.

Πίνακας 4.2: Τιμές των μικροκλιματικών παραμέτρων του εργασιακού χώρου του μετώπου - 132.

	26.11.20	ΣΤΟΑ -132 (2 ΒΑΡΔΙΑ)					
No	Ώρα	Εργασίες που εκτελούνται με βάση τον κύκλο παραγωγής	Tσ °C	R.H %	Tυ °C	ΔΘΥ °C	Παρατηρήσεις
1	15:30	ΞΕΣΚΑΡΩΜΑ :	20,4	68	16	17,3	ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
2	15:45	(ΞΕΣΚΑΡΩΤΙΚΟ 6)	23,5	53,8	17,3	19,2	
3	16:00	1 άτομο	25,4	51,6	18,5	20,6	
4	17:05	GUNITE:	20,7	69,5	15,7	17,2	ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
5	17:20	(ΒΑΡΕΛΑ 3, ΠΡΕΣΑ 3)	19,5	62,1	15	16,4	
6	17:35	3 άτομα	22,6	63,1	17,9	19,3	
7	7:55	ΓΟΜΩΣΗ:	18,5	68,2	14,9	16,0	ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
8	8:10	(ΑΝΥΨΩΤΙΚΟ 1)	21,8	67,7	17,7	18,9	
9	8:25	4 άτομα	22,6	63,9	17,9	19,3	
10	8:40		21,6	61	16,7	18,2	
11	7:55	ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ	20,3	62,6	15,7	17,1	ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
12	8:15	(ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟ 5)	20,9	61,3	16,1	17,5	
13	8:30	2 άτομα	21,5	63,1	16	17,7	
14	8:45		21,3	62	16,8	18,2	
15	9:00		21,1	60,3	16,2	17,7	
16	9:10	ΔΙΑΤΡΗΣΗ	20,8	62,3	16,2	17,6	ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
17	9:25	(ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟ 5)	20,8	63,2	16,3	17,7	
18	9:40	2 άτομα	21	62,7	16,4	17,8	
19	9:55		21,1	61,8	16,3	17,7	
20	10:10		22,2	63	17,8	19,1	

4.2 Μέτρηση ταχύτητας-παροχής του αέρα και υπολογισμού της απαιτούμενης ποσότητας

Στον πίνακα 4.3 δίνονται η ταχύτητα του αέρα που μετρήθηκε και η παροχή του αέρα όπως υπολογίστηκε για τη στοά του πατώματος -132.

Πίνακας 4.3: Ταχύτητα και παροχή αέρα στη στοά του πατώματος -132.

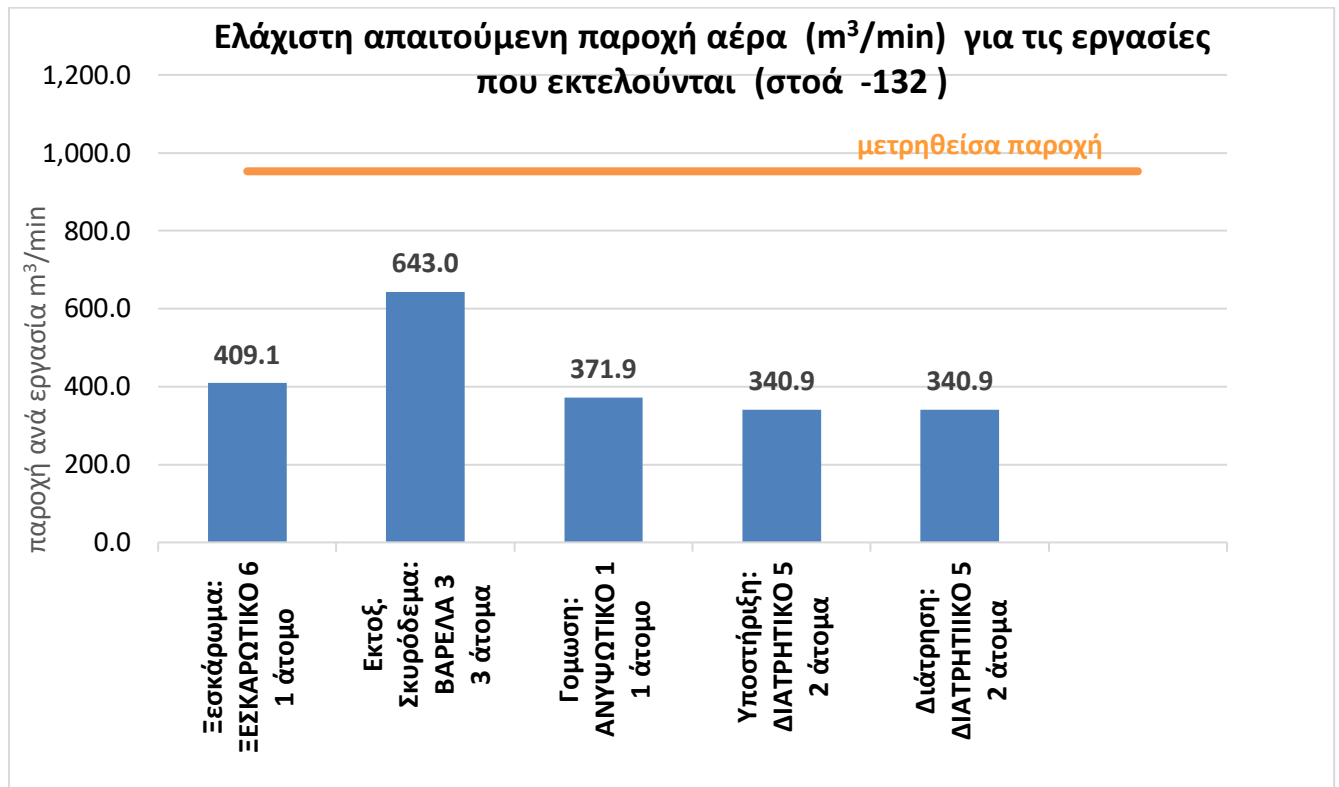
Διατομή	V	Ταχύτητα	Μετρηθείσα Παροχή -132 μετώπου	Μετρηθείσα Παροχή -132 μετώπου
(m ²)	(m/s)	(m/min)	(m ³ /min)	(m ³ /sec)
26,46	0,6	36	952,56	15,88
Ταχύτητα : $0.6 \text{ m/s} = 0.6 \times 60 = 36 \text{ m/min}$ Διατομή στοάς : $5.4 \text{ m} \times 4.9 \text{ m} = 26.46 \text{ m}^2$ Παροχή αέρα : $26.46 \text{ m}^2 \times 36 \text{ m/min} = 952.56 \text{ m}^3/\text{min}$				

Στον πίνακα 4.4 δίνονται πληροφορίες για τις εκτελούμενες εργασίες στο συγκεκριμένο πάτωμα, τη συνολική παροχή και την απαιτούμενη παροχή αέρα με βάση τον Κ.Μ.Λ.Ε. Η εργασία ξεσκαρώματος γίνεται με το ξεσκαρωτικό μηχάνημα που έχει ισχύ 175,6 Hp. Ο όγκος του καθαρού αέρα σε όλες τις θέσεις εργασίας, πρέπει να είναι το λιγότερο, $5,66 \text{ m}^3$ κάθε πρώτο λεπτό και εργαζόμενο και $2,33 \text{ m}^3$ για κάθε πρώτο λεπτό και ίππο μηχανημάτων εσωτερικής καύσης. Άρα, $175,6 \times 2,33 = 409,1 \text{ m}^3/\text{min}$ είναι η απαιτούμενη παροχή για το μηχάνημα και $1 \times 5,66 = 5,66 \text{ m}^3/\text{min}$ η απαιτούμενη παροχή για τον εργαζόμενο. Η συνολική ελάχιστη απαιτούμενη παροχή είναι $409,1 + 5,66 = 414,7 \text{ m}^3/\text{min}$. Η μετρηθείσα παροχή είναι $952,6 \text{ m}^3/\text{min}$, οπότε υπερκαλύπτει την ελάχιστη απαιτούμενη.

Πίνακας 4.4: Υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής αέρα στο πάτωμα -132 με βάση τον λειτουργούντα μηχανολογικό εξοπλισμό και τον αριθμό των εργαζομένων.

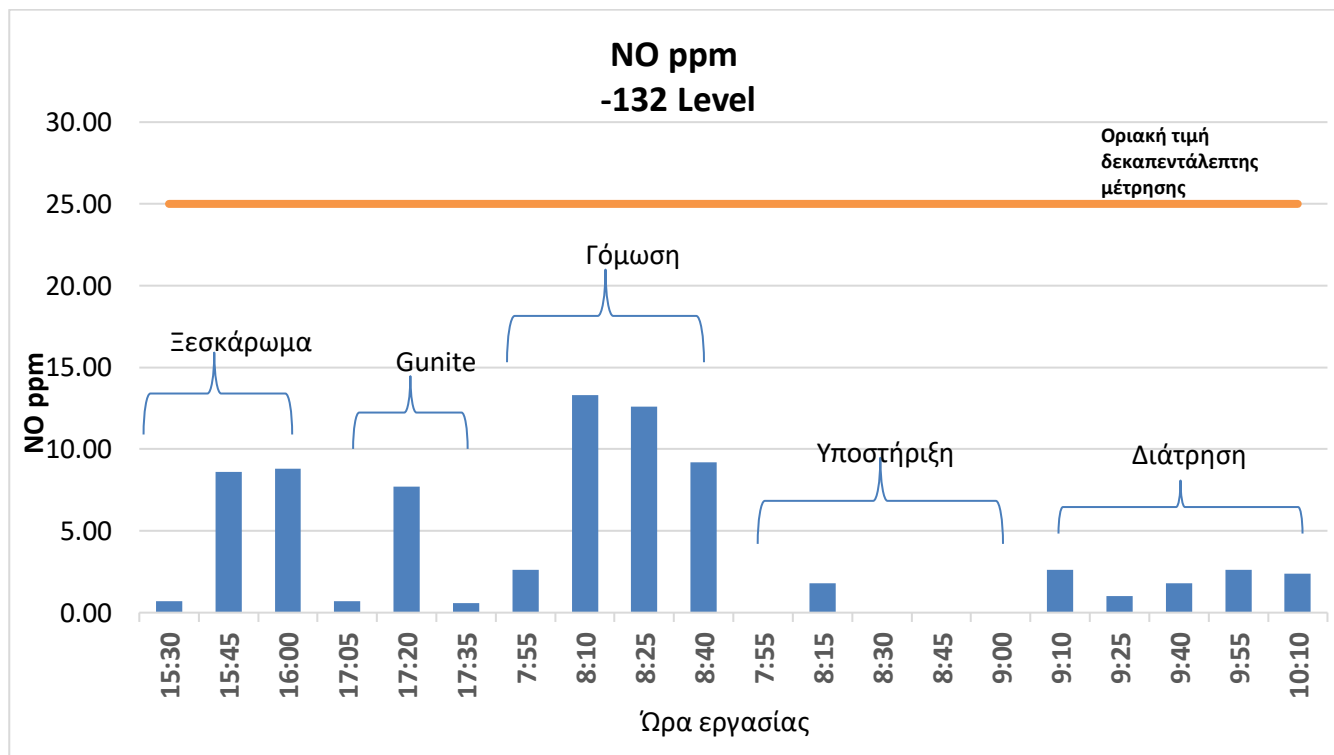
Μηχ/κος Εξοπλισμός	HP	Μετρηθείσα παροχή m³/min	Συνολική Παροχή m³/min	Αριθμός εργαζομέ- νων	Παροχή m³/min	Απαιτούμενη παροχή για τις εργασίες που εκτελούνται m³/min	Μετρηθεί- σα παροχή αέρα m³/min	Παρατη- ρήσεις
Ξεσκάρωμα: ΞΕΣΚΑΡΩΤΙΚΟ 6 1 άτομο	175,6	409,1	409,1	1	5,66	414,7	952,6	Εντός ορίων
Εκτοξ. Σκυρόδεμα: ΒΑΡΕΛΑ 3 3 άτομα	199,5	464,8	643,0	3	16,98	481,8	952,6	Εντός ορίων
Εκτοξ. Σκυρόδεμα: ΠΡΕΣΑ 3 3 άτομα	76,5	178,2		3	16,98	195,2	952,6	
Γομωση: ΑΝΥΨΩΤΙΚΟ 1 1 άτομο	159,6	371,9	371,9	1	5,66	377,5	952,6	Εντός ορίων
Υποστήριξη: ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟ 5 2 άτομα	146,3	340,9	340,9	2	11,32	352,2	952,6	Εντός ορίων
Διάτρηση: ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟ 5 2 άτομα	146,3	340,9	340,9	2	11,32	352,2	952,6	Εντός ορίων

Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται η απαιτούμενη παροχή αέρα της κάθε εργασίας που μελετήθηκε. Όλες οι τιμές είναι εντός των ορίων και υπερκαλύπτουν την απαίτηση. Με μέγιστη μετρηθείσα παροχή 952,6 m³/min.



Σχήμα 4.1: Απαιτούμενη παροχή αέρα ανά εκτελούμενη εργασία και μετρηθείσα για το πάτωμα -132.

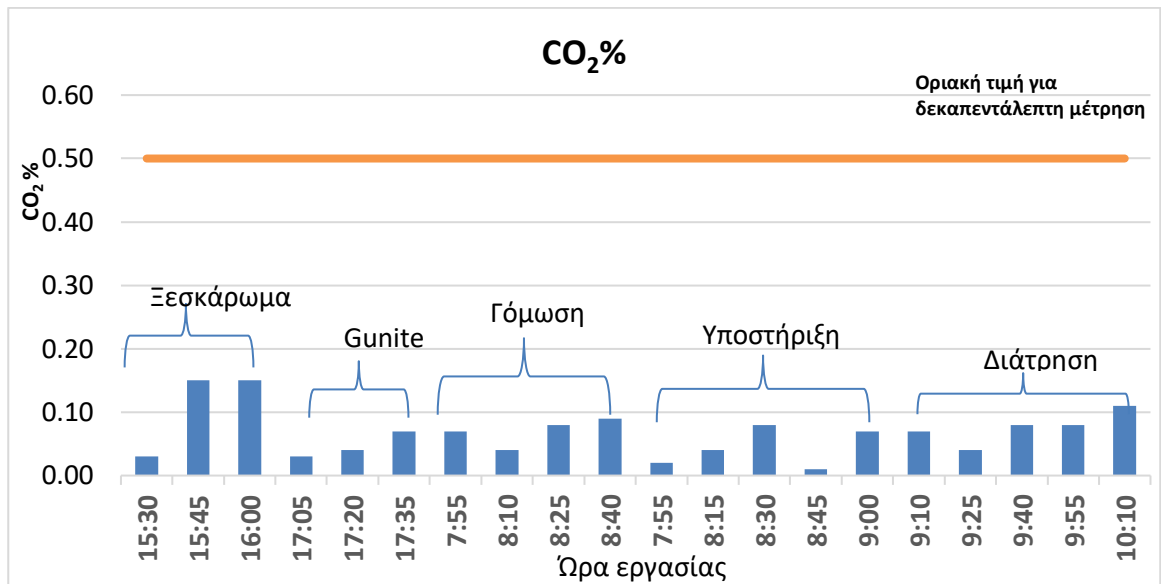
Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζονται οι τιμές της συγκέντρωσης (ppm) του NO για τις μετρήσεις των 15min. Όπως φαίνεται από το σχήμα δεν υπάρχει υπέρβαση της οριακής τιμής για 15λεπτη μέτρηση.



Σχήμα 4.2: Μεταβολή των τιμών της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου (15λεπτες μετρήσεις) κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφόρων εργασιών στη στοά -132.

Στο σχήμα 4.2 οι υψηλότερες τιμές που μετρήθηκαν ήταν στο ξεσκάρωμα, στη εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος και στη γόμωση και οφείλονται στο γεγονός ότι το μονοξείδιο του άνθρακα επηρεάζεται από τις αυξομειώσεις της έντονης λειτουργίας του κινητήρα των μηχανημάτων.

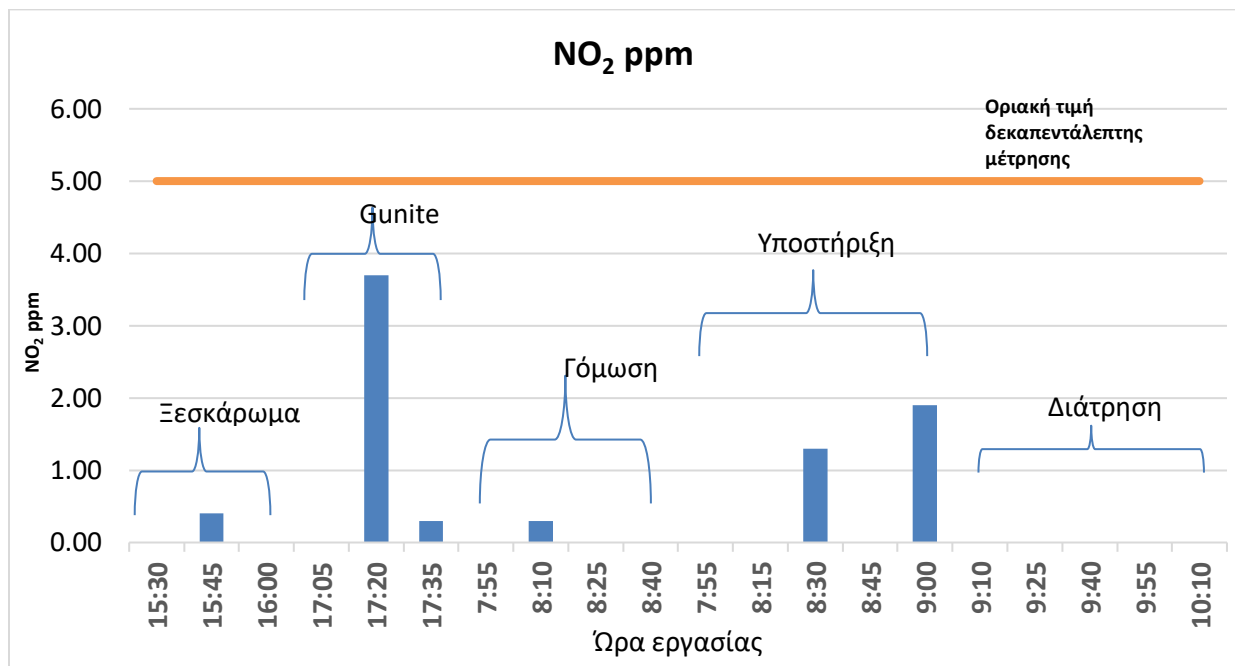
Στο σχήμα 4.3 παρουσιάζονται οι τιμές της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα (15λεπτες μετρήσεις). Δεν υπάρχει υπέρβαση της οριακής τιμής του 0.50 % που ορίζει ο ΚΜΛΕ.



Σχήμα 4.3: Μεταβολή των τιμών της συγκέντρωσης του CO₂ (15λεπτες μετρήσεις) κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφόρων εργασιών στη στοά -132.

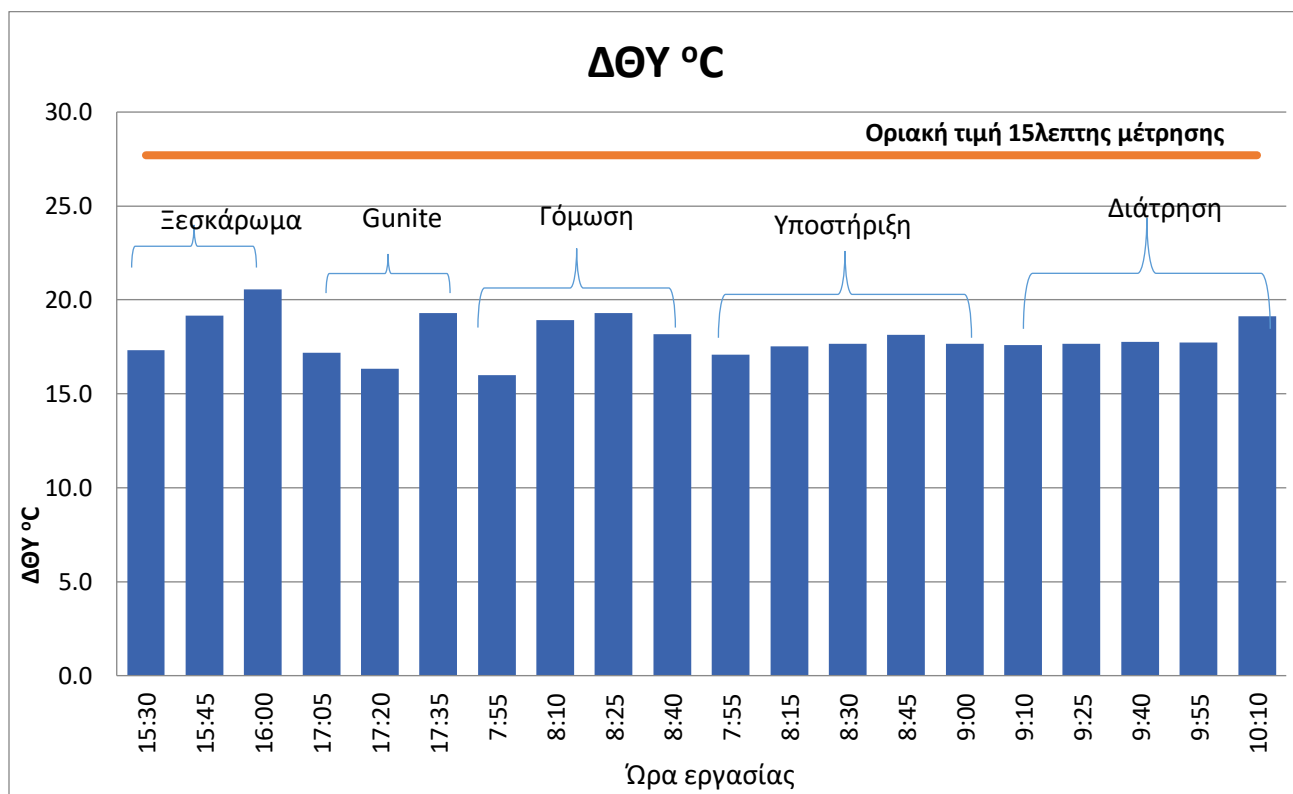
Παρατηρούνται κάποιες αυξημένες τιμές στο ξεσκάρωμα εν ώρα εργασίας του μηχανήματος, όπου οφείλονται στις αυξομειώσεις της έντονης λειτουργίας του κινητήρα του μηχανήματος.

Στο σχήμα 4.4 παρουσιάζονται οι τιμές του διοξειδίου του αζώτου κάθε μέτρησης. Παρατηρείται ότι όλες οι τιμές βρίσκονται εντός ορίων και δεν ξεπερνούν την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή που είναι 5,00 ppm. Στις εργασίες υποστήριξη και εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος υπάρχουν κάποιες αυξημένες τιμές. Ειδικότερα στην εφαρμογή σκυροδέματος για το μηχάνημα της βαρέλας, η πρώτη μέτρησή της είναι ανεβασμένη λόγω της έναρξης λειτουργίας του μηχανήματος. Το διοξείδιο του αζώτου παράγεται κατά την λειτουργία μηχανών εσωτερικής καύσης.



Σχήμα 4.4: Μεταβολή των τιμών της συγκέντρωσης του NO₂ (15λεπτες μετρήσεις) κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφόρων εργασιών στη στοά -132.

Στο σχήμα 4.5 παρουσιάζονται οι τιμές του Δ.Θ.Υ της κάθε εργασίας. Όλες οι μετρούμενες τιμές βρίσκονται εντός ορίων σε σχέση με την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή που σύμφωνα με τον ΚΜΛΕ είναι 27.7 °C.



Σχήμα 4.5: Οι τιμές του ΔΘΥ της κάθε εργασίας.

4.3 Μετρήσεις των παραμέτρων ποιότητας αέρα και των μικροκλιματικών παραγόντων

Στον παρακάτω πίνακα 4.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις του Δυτικού μετώπου στο πάτωμα - 230_1. Ο πίνακας περιέχει τις τιμές των αερίων που μετρήθηκαν: O₂, H₂S, NO, NO₂, CO, CO₂, καθώς και της σκόνης. Όλα τα επιβλαβή αέρια που μετρήθηκαν παράγονται από την καύση των ντιζελοκίνητων μηχανημάτων εκτός από το H₂S το οποίο προέρχεται από τα περιβάλλοντα πετρώματα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν για τις εργασίες: ξεσκάρωμα, εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος, γόμωση και διάτρηση. Ο χρόνος μέτρησης είναι ανά δεκαπέντε λεπτά. Ο πίνακας περιέχει και την μέση τιμή των μετρήσεων, η οποία ο μέσος όρος που καταγράφηκε στη διάρκεια της κάθε εργασία όταν αυτή είχε ξεκινήσει.

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα μετρήσεων παραμέτρων ποιότητας του αέρα δυτικού πατώματος στο επίπεδο -230_1

No	Ώρα	Εργασίες (εξοπλισμός, εργαζόμενοι)	H ₂ S	O ₂	NO	M.T NO	CO ₂	M.T CO ₂	NO ₂	M.T NO ₂	CO	Σκόνη	M.T Dust	Παρατη- ρήσεις
			ppm	%	ppm	ppm	%	(% κ.ο.)	ppm	ppm	ppm	mg/m ³	mg/m ³	
1	9:00	ΔΙΑΤΡΗΣΗ:	0	20,9	0		0,07		0		0	0,04		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣ ΕΙ
2	9:15	ATLAS COPCO M2D (2 BOOMS)	0	20,9	0		0,06		0		0	0,05		
3	9:30	ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟ	0	20,9	0		0,07		0		0	0,08		
4	9:45	2 άτομα	0	20,9	0		0,09		0		0	1,5	0,64	
5	10:00		0	20,9	0	0	0,09	0,19	0	0	0	0,31		
6	10:15		0	20,9	0		0,08		0		0	0,34		
7	10:30		0	20,9	0		0,07		0		0	1,86		
8	10:45		0	20,9	0		0,04		0		0	0,60		
9	11:00		0	20,9	0		0,07		0		0	0,37		
10	11:30	ΓΟΜΩΣΗ:	0	20,9	0		0,04		0		0	0,33		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣ ΕΙ

11	11:45	ATLAS COPCO LIFTEC UV2	0	20,9	2,1	2,03	0,11	0,15	0,2		0	0,37		
		ΑΝΥΨΩΤΙΚΟ												
12	12:00	(159.6 HP)	0	20,9	2,6		0,15		0,2	0.2	0	0,43	0,40	ΕΦΥΓΕ ΤΟ ΑΝΥΨΩΤΙ ΚΟ
13	12:15	4 άτομα	0	20,9	1,4		0,05		0		0	0,40		
14	10:10	GUNITE:	0	20,9	2,5		0,09		0,9		0	0,24		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣ ΕΙ
15	10:25	PUTZMEISTER SIKA 4210	0	20,9	5,7	5,95	0,13	0,11	1,1	0,85	0	2,19	1,66	
		(ΠΡΕΣΑ) (223,44 HP)												
		NORMET VARIOMEC LF700												
		(ΒΑΡΕΛΑ)												
16	10:40	3 άτομα	0	20,9	6,2		0,09		0,6		0	1,14		
17	8:30	ΞΕΣΚΑΡΩΜΑ:	0	20,9	0,5		0,04		0		0	2,06		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣ ΕΙ
18	8:35	ΤΣΑΠΑ LIEBHERR A900	0	20,9	5,4	5,65	0,15	0,17	0,2	0.2	0	4,31	5,47	
		(139.65 HP)												
19	8:50	1 άτομο	0	20,9	5,9		0,19		0,2		0	6,64		
20	8:00	ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ:	0	20,9	0		0,04		0		0	0,14		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣ ΕΙ
21	8:05	SANDVIK DD321-40C(2 BOOMS)	0	20,9	1,8		0,09		0		0	0,13		
22	8:20	ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟ	0	20,9	0,5	2,3	0,05	0,19	0	0	0	2	0,58	
23	8:35	2 άτομα	0	20,9	0		0,04		0		0	0,12		
24	8:50		0	20,9	0		0,04		0		0	0,09		

Να σημειωθεί ότι τα μηχανήματα :

- SANDVIK DD321-40C (2 BOOMS) (Διατρητικό)
- ATLAS COPCO M2D CE (2 BOOMS) (Διατρητικό)

- PUTZMEISTER SIKKA 4210 (Πρέσα)

λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα του μεταλλείου. Τα υπόλοιπα μηχανήματα όπως ήδη προαναφέρθηκε με βάση την παροχή του αέρα που χρειάζονται και σε σύγκριση με την μετρηθείσα παροχή του μετώπου βρίσκεται εντός ορίων για κάθε μηχανήμα. Παρατηρείται ότι οι τιμές του H_2S είναι μηδέν και σε αυτό το μέτωπο, οπότε κατά τις εργασίες το περιβάλλον πέτρωμα δεν απελευθερώνει υδρόθειο. Η περιεκτικότητα του αέρα σε οξυγόνο είναι σταθερή καθ' όλη την διάρκεια των εργασιών και εντός ορίων. Το NO είναι χημικός παράγοντας που επηρεάζεται από την λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης. Στο ξεσκάρωμα και στην εφαρμογή του εκτοξευμένου σκυροδέματος έχουμε σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης. Οι μεγάλες μεταβολές που παρατηρούνται οφείλονται, στις αυξομειώσεις της έντασης λειτουργίας του κινητήρα του μηχανήματος. Για το CO_2 δεν παρατηρούνται σημαντικές αυξήσεις, όλες οι τιμές βρίσκονται εντός ορίων με βάση τον ΚΜΛΕ (0,5% το όριο). Για το NO_2 παρατηρείται μια αύξηση κατά την εργασία εφαρμογής του gunite όπου φτάνει στα 1,1 ppm, χωρίς να έχουμε υπέρβαση του ορίου. Κατά την εργασία αυτή λειτουργούν δύο μηχανήματα όπου το ένα από αυτά είναι ντιζελοκίνητο (NORMET VARIOMEC LF700 (βαρέλα)).

Οι μετρήσεις της σκόνης είναι αυξημένες στην εργασία ξεσκάρωμα λόγω ότι ο χειριστής δεν έκανε ταυτόχρονα με το ξεσκάρωμα και διαβροχή μετώπου. Το μηχανήμα που χρησιμοποιείται για την εργασία αυτή μπορεί να συνδέεται με το δίκτυο νερού του μετώπου, ώστε να γίνεται εφικτή η διαβροχή του μετώπου καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Η διαδικασία αυτή βοηθάει στο να μειωθεί η σκόνη που παράγεται από τέτοιες διαδικασίες. Στη συγκεκριμένη εργασία είναι απαραίτητη η χρήση της μάσκας, η οποία προστατεύει από όλους τους ρύπους εκτός του CO .

Όλες οι τιμές επηρεάζονται και από το γεγονός ότι σε ένα υπόγειο μεταλλείο όπου δεν γίνεται ο αερισμός των μετώπων μόνο φυσικά, με αποτέλεσμα ο μολυσμένος αέρας των διάφορων μετώπων μπορεί να μεταφέρεται από μέτωπο σε μέτωπο μέσω των ανεμιστήρων και έτσι να είναι ήδη επιβαρυνμένος σε ένα μέτωπο. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε μέτωπα όπου ο αέρας γινόταν με φυσικό τρόπο αλλά υπήρχαν γειτονικά μέτωπα όπου ο αέρας γινόταν με τεχνητό τρόπο, με αποτέλεσμα ο αέρας των μετρούμενων μετώπων να επηρεάζεται και από αυτό. Σε όλη την έκταση του μεταλλείου κινούνται φορτηγά, τα οποία επηρεάζουν τις τιμές των μετρήσεων στα μέτωπα ανάλογα με το φορτίο τους και την κλίση της διαδρομής. Οι μετρήσεις που καταγράφηκαν πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε διεργασία μπορεί να μην είναι όλες μηδενικές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μέτωπο μπορεί να μην είχε αρκετό χρόνο να αεριστεί επαρκώς από την προηγούμενη εργασία και να ήταν ήδη επιβαρυνμένος. Επίσης, είναι πιθανό να υπήρχε κάποιο πρόβλημα με τους κεντρικούς ανεμιστήρες.

Εκτός των παραμέτρων ποιότητας του αέρα μετρήθηκαν και οι μικροκλιματικοί παράμετροι του εργασιακού χώρου του μετώπου -230_1. Στον πίνακα 4.6 δίνονται οι θερμοκρασίες του υγρού θερμομέτρου (Tu), του σφαιρικού θερμομέτρου (Ts) , η σχετική υγρασία (RH) καθώς ο δείκτης θερμοκρασίας υγρασίας (ΔΘΥ) που υπολογίσθηκε.

Πίνακας 4.6: Τιμές των μικροκλιματικών παραμέτρων του εργασιακού χώρου του μετώπου - 230_1.

	23.11.20	ΣΤΟΑ -230_1(1η ΒΑΡΔΙΑ)					
No	Ώρα	Εργασίες	Ts °C	R.H %	Tu °C	ΔΘΥ °C	Μέτρηση
1	9:00	ΔΙΑΤΡΗΣΗ: (JUMBO 3) 2 άτομα	21,2	71,7	17,7	18,7	ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
2	9:15		23,1	64,8	18,5	19,8	
3	9:30		22,7	66,6	18,3	19,6	
4	9:45		24,2	58,7	18,5	20,2	
5	10:00		23,9	62	18,8	20,3	
6	10:15		25	63,7	19,9	21,4	
7	10:30		25,6	62,9	20,3	21,8	
8	10:45		25,9	61,5	20,8	22,3	
9	11:00		26,5	62,1	21,1	22,7	
10	11:30	ΓΟΜΩΣΗ: (ΚΑΛΑΘΟΦΟΡΟΣ 3) 4 άτομα	20,9	71,1	17,4	18,4	ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
11	11:45		25,9	63,7	20,6	22,1	
12	12:00		26,5	60,9	20,6	22,3	ΕΦΥΓΕ ΤΟ ΑΝΥΨΩΤΙΚΟ
13	12:15		24,1	65,4	19,5	20,8	
14	10:10	Gunite: (ΠΡΕΣΑ 2, ΒΑΡΕΛΙ 8) 3 άτομα	24,5	66,6	20,1	21,4	ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
15	10:25		25,8	64	20,9	22,3	
16	10:40		26,1	60,6	20,3	22,0	
17	8:30	ΞΕΣΚΑΡΩΜΑ: (ΔΡΑΚΟΣ 6) 1 άτομο	19,8	71,2	15,3	16,6	ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
18	8:35		22,1	71,9	18,4	19,5	
19	8:50		22,9	75,4	18,7	19,9	
20	8:00	ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ: (JUMBO 5) 2 άτομα	18,4	80,4	15,9	16,6	ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ
21	8:05		21,9	79,9	18,3	19,3	
22	8:20		22,5	75,4	19,1	20,1	
23	8:35		21,3	78,5	18,4	19,2	
24	8:50		22,1	79,1	19,2	20,0	

4.4 Μέτρηση ταχύτητας-παροχής του αέρα και υπολογισμού της απαιτούμενης ποσότητας

Στον πίνακα 4.7 δίνονται η ταχύτητα του αέρα που μετρήθηκε και η παροχή του αέρα όπως υπολογίστηκε για τη στοά του πατώματος -230_1.

Πίνακας 4.7: Ταχύτητα και παροχή αέρα στη στοά του πατώματος -230_1.

Διατομή	V	Ταχύτητα	Μετρηθείσα Παροχή -230_1 μετώπου	Μετρηθείσα Παροχή -230_1 μετώπου
(m ²)	(m/s)	(m/min)	(m ³ /min)	(m ³ /sec)
31,27	0,9	54	1688,58	28,14
Ταχύτητα : $0.9\text{m/s} = 0.9 \times 60 = 54\text{ m/min}$ Διατομή στοάς : $5.3\text{ m} \times 5.9\text{ m} = 31,27\text{ m}^2$ Παροχή αέρα : $31,27\text{ m}^2 \times 54\text{ m/min} = 1688,58\text{ m}^3/\text{min}$				

Στον πίνακα 4.8 δίνονται πληροφορίες για την κάθε διεργασία του -230_1, η συνολική παροχή και η μέγιστη παροχή με βάση τον ΚΜΛΕ. Στην πρώτη γραμμή η διεργασία διάτρηση γίνεται με το διατρητικό (jumbo) 6 που έχει ισχύ 153 Ηρ. Ο όγκος του καθαρού αέρα σε όλες τις θέσεις εργασίας, πρέπει να είναι το λιγότερο, 5,66 m³ κάθε πρώτο λεπτό και εργαζόμενο και 2,33 m³ για κάθε πρώτο λεπτό και ίππο μηχανημάτων εσωτερικής καύσης. Άρα, $152,95 \times 2,33 = 356,4\text{ m}^3/\text{min}$ η παροχή στη συγκεκριμένη διεργασία και $2 \times 5,66 = 11,32\text{ m}^3/\text{min}$. Η απαιτούμενη παροχή είναι $356,4 + 11,32 = 367,7\text{ m}^3/\text{min}$. Η μετρηθείσα παροχή είναι 1688,58 m³/min, επομένως είναι εντός ορίων.

Πίνακας 4.8: Μέτρηση παροχής σε σχέση με τον μηχανικό εξοπλισμό και με βάση τον ΚΜΛΕ.

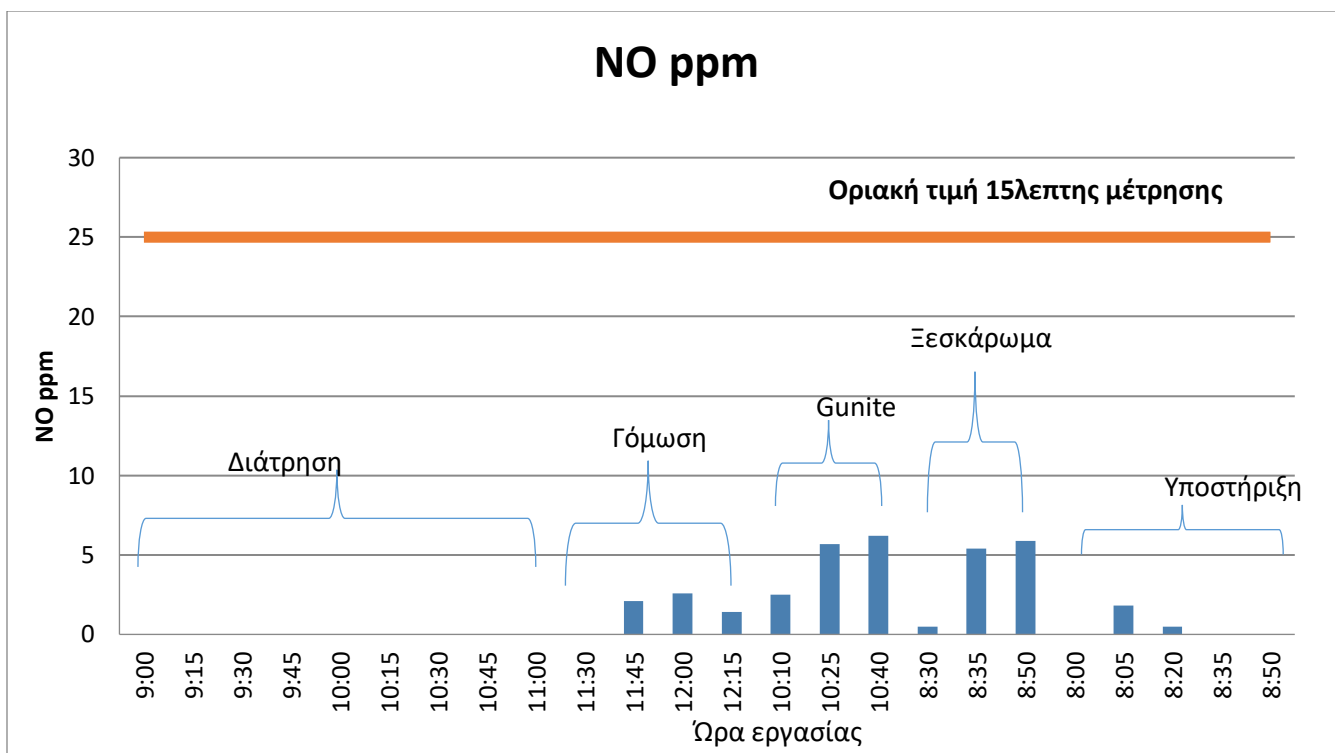
Μηχ/κος Εξοπλισμός	HP	Μετρηθείσα Παροχή m ³ /min	Συνολική Παροχή m ³ /min	Εργαζό- μενοι	Παροχή m ³ /min	Απαιτούμενη Παροχή για τις εργασίες που εκτελούνται m ³ /min	Μετρηθείσα Παροχή -230_1 μετώπου m ³ /min	Παρατηρήσεις
ΔΙΑΤΡΗΣΗ: (JUMBO 3) 2 άτομα	152,95	356,4	356,4	2	11,32	367,7	1688,6	Εντός ορίων
ΓΟΜΩΣΗ: (Ανυψωτικό No3) 4 άτομα	159,6	371,9	371,9	3	16,98	388,8	1688,6	Εντός ορίων
Εκτοξ. Σκυρόδεμα: (ΠΡΕΣΑ Νο2) 3 άτομα	72,751	169,5	713,4	3	3,566	717,0	1688,6	Εντός ορίων
Εκτοξ. Σκυρόδεμα: (ΒΑΡΕΛΙ Νο8) 3 άτομα	233,44	543,9						
ΞΕΣΚΑΡΩΜΑ: (Ξεσκαρωτικό No6) 1 άτομο	139,65	325,3845	32,3845	1	5,66	331,0	1688,6	Εντός ορίων
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ: (Διατρητικό No5) 2 άτομα	146,3	340,879	340,879	2	11,32	352,2	1688,6	Εντός ορίων

Στο σχήμα 4.6 παρουσιάζεται το σύνολο της παροχής για την κάθε εργασία. Η μετρηθείσα παροχή είναι 1688,58 m³/min και υπερκαλύπτει την απαίτηση.



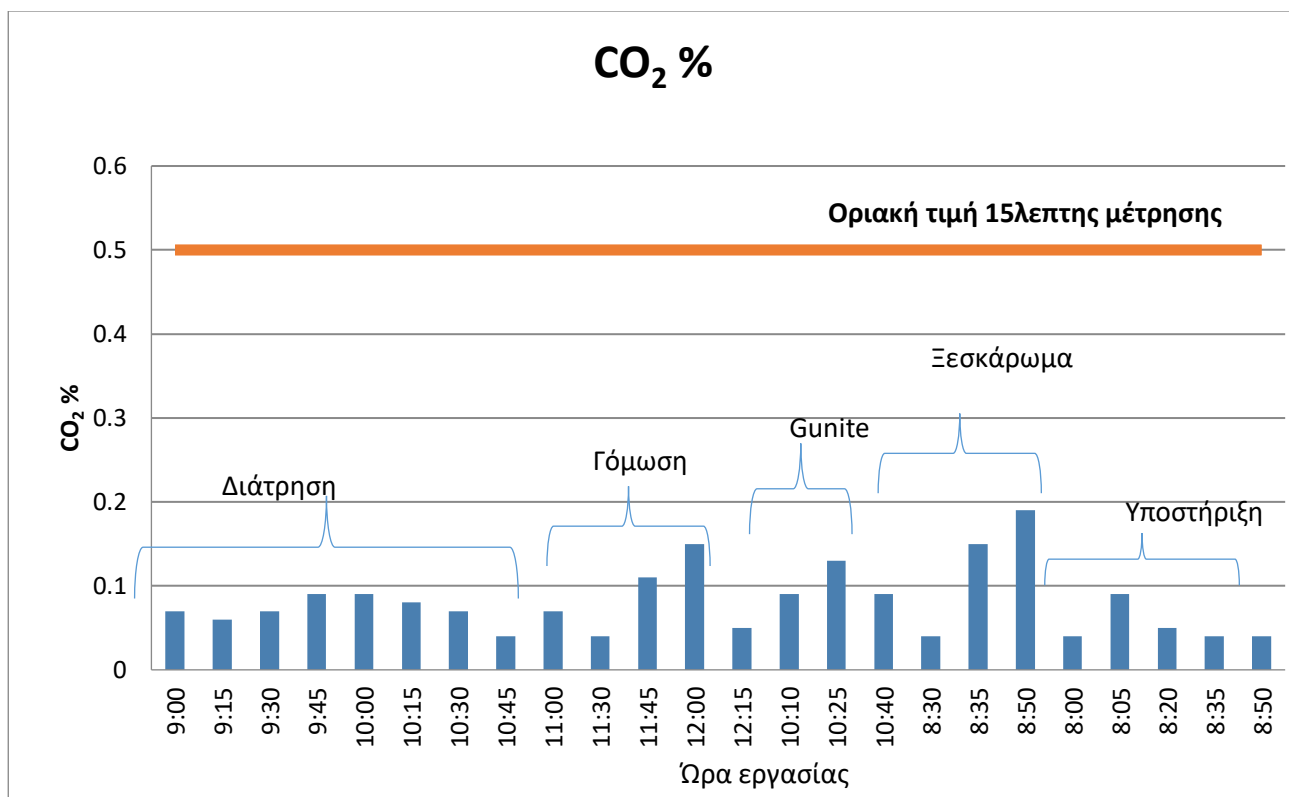
Σχήμα 4.6: Απαιτούμενη παροχή αέρα ανά εκτελούμενη εργασία και μετρηθείσα για το πάτωμα -230_1.

Στο σχήμα 4.7 παρατηρείται ότι οι τιμές του μονοξειδίου του αζώτου είναι εντός ορίων σε σχέση με την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή. Στις εργασίες γόμωση, εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος και ξεσκάρωμα εντοπίζονται τιμές, οι οποίες είναι ανεβασμένες και αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι κατά την λειτουργία μηχανών εσωτερικής καύσης και σε συνδυασμό των αυξομειώσεων της λειτουργίας των μηχανών αυτών να παράγεται περισσότερο μονοξείδιο του αζώτου.



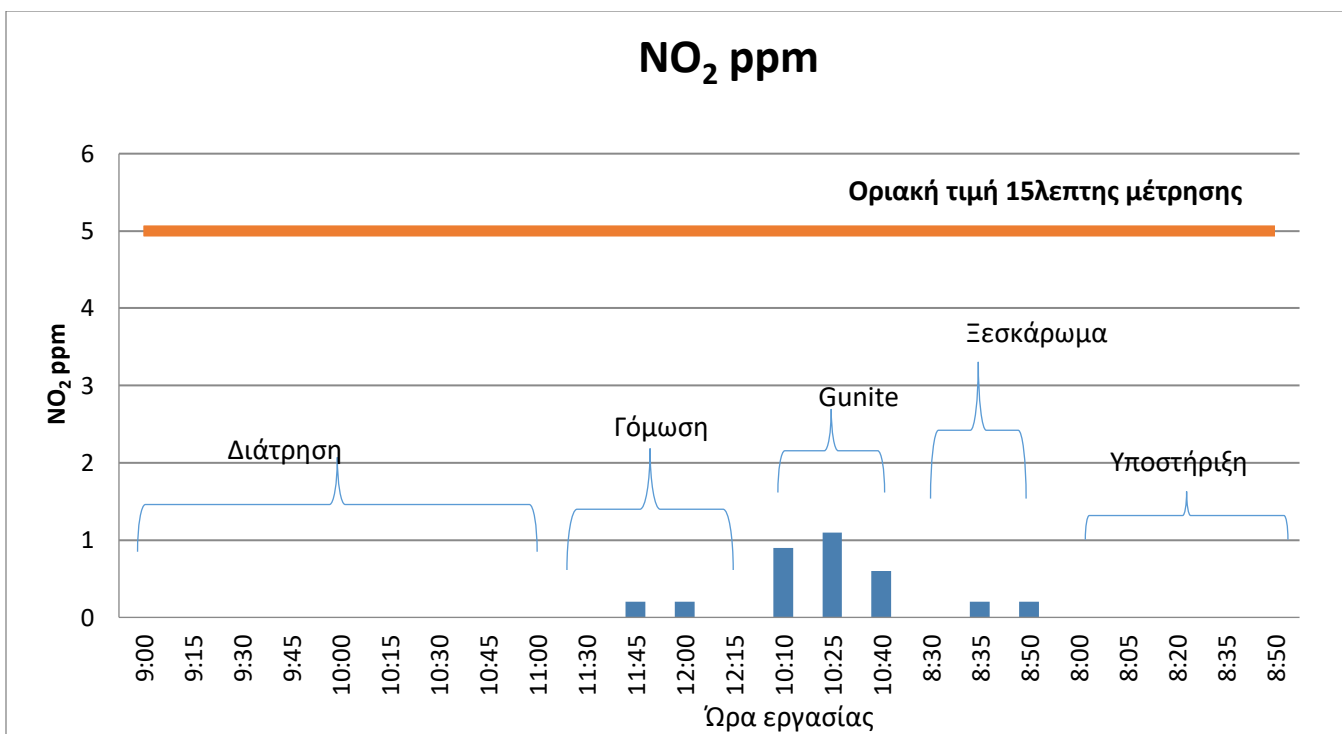
Σχήμα 4.7: Μεταβολή των τιμών της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του αζώτου (15λεπτες μετρήσεις) κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφόρων εργασιών στη στοά -230_1.

Όλες οι τιμές του διοξειδίου του άνθρακα κάθε μέτρησης που παρουσιάζονται στο σχήμα 4.8 είναι εντός ορίων, αφού δεν ξεπερνούν την μέγιστη τιμή σύμφωνα με τον ΚΜΛΕ. Όμως, στο ξεσκάρωμα εντοπίζονται αυξημένες τιμές λόγω της λειτουργίας μηχανών εσωτερικής καύσης.



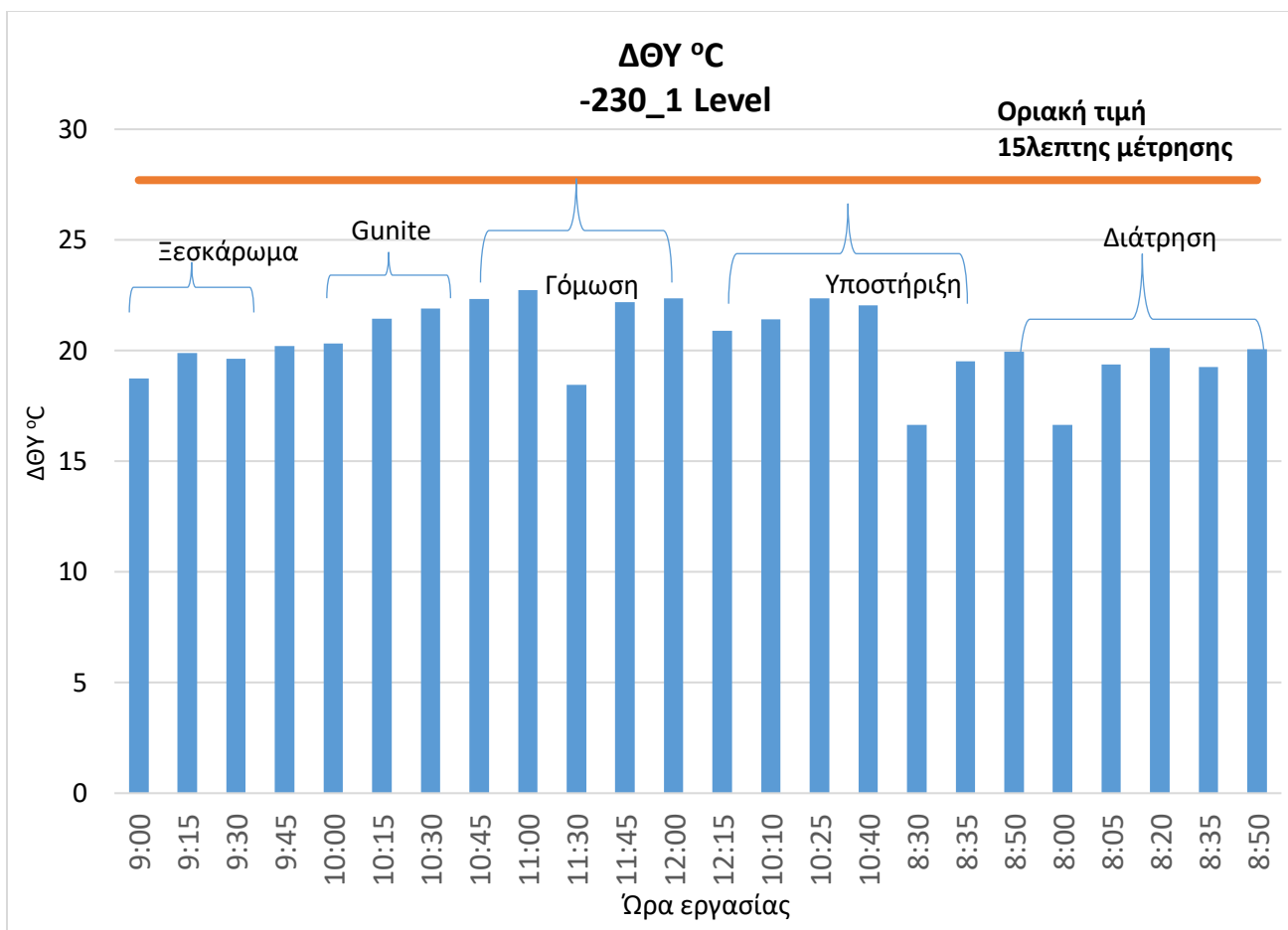
Σχήμα 4.8: Μεταβολή των τιμών της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα (15λεπτες μετρήσεις) κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφόρων εργασιών στη στοά -230_1.

Όλες οι τιμές του NO₂ όπως φαίνεται στο σχήμα 4.9, βρίσκονται εντός των ορίων και δεν ξεπερνούν την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή. Στην εργασία εκτοξευμένο σκυρόδεμα, οι τιμές είναι αυξημένες λόγω των αυξομειώσεων της μηχανής εσωτερικής καύσης.



Σχήμα 4.9: Μεταβολή των τιμών της συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου (15λεπτες μετρήσεις) κατά τη διάρκεια εκτέλεσης διαφόρων εργασιών στη στοά -230_1.

Στο σχήμα 4.10 παρουσιάζονται οι τιμές του Δ.Θ.Υ της κάθε εργασίας. Όλες οι μετρούμενες τιμές βρίσκονται εντός των ορίων σε σχέση με την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή που είναι 27.7 °C, σύμφωνα με τον ΚΜΛΕ.



Σχήμα 4.10: Οι τιμές του Δ.Θ.Υ της κάθε εργασίας.

Στον παρακάτω πίνακα 4.9 παρουσιάζονται οι οριακές και οι ανώτατες οριακές τιμές των αερίων με βάση την εταιρία αλλά και σύμφωνα με τον Κ.Μ.Λ.Ε. Παρατηρούμε ότι η εταιρία χρησιμοποιεί αυστηρότερα όρια από τον ΚΜΛΕ.

Πίνακας 4.9: Οριακές και ανώτατες οριακές τιμές των αερίων με βάση το όριο του οργάνου που έχει ορίσει η εταιρεία και με βάση τον Κ.Μ.Λ.Ε.

	O ₂ (Vol%)	CO ₂ (Vol%)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	NO (ppm)	H ₂ S (ppm)
Οριακές τιμές συγκεντρώσεων αερίων σύμφωνα με τη εταιρία	19	0,5000	30	-	25	5
Ανώτατες Οριακές τιμές συγκεντρώσεων αερίων σύμφωνα με την εταιρία	23	1,000	60	-	50	10
Οριακές τιμές συγκεντρώσεων αερίων σύμφωνα με Κ.Μ.Λ.Ε* (mg/m ³)	19,5	0,5000	50	5	25	10
Ανώτατες Οριακές τιμές συγκεντρώσεων αερίων σύμφωνα με Κ.Μ.Λ.Ε * (ppm)	-	1,000	300	5	300	15

4.5 Μετρήσεις των DPM

Για λόγους πληρότητας της εργασίας εξετάστηκαν και μετρήσεις των DPM που πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικά μέτωπα από αυτά που αναφέρονται στη συγκεκριμένη εργασία λόγω ότι στα μέτωπα αυτά για τεχνικούς λόγους δεν γινόταν να καταγραφούν τέτοιου είδους μετρήσεις. Η άμεση μέθοδος μέτρησης DPM γίνεται με τα όργανα TSI Siderak και Dusttrak που δείχνουν τα ποσοστά συγκέντρωσης των DPM κάθε στιγμή και υπολογίζουν την χρονικά σταθμισμένη τιμή του οκταώρου (Time Weighted Average) που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της έκθεσης του εργαζόμενου. Ακριβέστερη μέθοδος υπολογισμού είναι η βαρυτομετρική, που

χρησιμοποιήθηκε στην περίπτωση αυτή, αλλά δεν ενδείκνυνται για λήψη άμεσων μετρήσεων.

Στον πίνακα 4.10 δίνονται οι μετρήσεις που έγιναν για DPM. Η βάρδια που διενεργήθηκε η δειγματοληψία, είναι η Α βάρδια (6:00 – 14:00). Μετρήθηκαν ο BC (Black Carbon) και οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs). Στον πίνακα παρουσιάζονται οι ημερομηνίες των μετρήσεων, τα μέτωπα, ο τύπος του οργάνου, η εργασία και η ειδικότητα του εργαζομένου τη στιγμή της μέτρησης.

Παρατηρούμε ότι στην εργασία ξεσκάρωμα χρησιμοποιείται μηχάνημα τύπου εκσκαφέα (δράκος), το οποίο λειτουργεί με μηχανή εσωτερικής καύσης για αυτό και το επίπεδο των καυσαερίων είναι υψηλά. Στη διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη η χρήση μάσκας για τον χειριστή. Κατά την αγκύρωση και στην εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος χρησιμοποιείται επίσης πετρελαιοκίνητο μηχάνημα με συνέπεια να επιβαρύνεται η ατμόσφαιρα και οι μετρήσεις να είναι ανεβασμένες. Όπως ήδη προαναφέραμε, το όριο κάθε εταιρίας διαφέρει. Ο Ελληνικός Χρυσός έχει βάλει όριο 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Όλες οι τιμές βρίσκονται εντός ορίων εκτός από το ξεσκάρωμα και αυτό οφείλεται στη χρήση ντιζελοκίνητων μηχανημάτων, τα οποία απελευθερώνουν καυσαέρια.

Πίνακας 4.10: Μετρήσεις των DPM σε διάφορα πατώματα και θέσεις εργασίας.

No	Η/νία	Θέση δειγματοληψίας	Αντλία δειγματοληψίας	Ειδικότητα εργαζομένου	Εργασία	Διάρκεια μέτρησης (min)	BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PAHs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	16/10/20	-173	20141102031 Personal	Χειριστής Γεωτρυπάνου	Γεώτρηση	394	9	6
2	16/10/20	-173	20141102035 Personal	Χειριστής Γεωτρυπάνου	Γεώτρηση	395	14	16
3	16/10/20	-300w	20141102030 Personal	Χειριστής Γεωτρυπάνου	Γεώτρηση	402	33	35
4	12/01/21	-220 (-330_4 ΔΕΞΙ, -300_4 ΑΡΙΣΤΕΡΟ)	20141102030 Personal	Χειριστής Αντλίας Μπετόν	Gunite	419	24	26
5	12/01/21	-230_2 και -230_1	20141102035 Personal	Χειριστής Φορτωτή	Ξεμπάζωμα	377	36	39
6	15/01/21	-130	20141102030 Personal	Οδηγός Βαρέλας	Gunite	406	4	7
7	15/01/21	-300_1 (-330_4 ΔΕΞΙ, -300_4 ΑΡΙΣΤΕΡΟ)	20141102031 Personal	Επικεφαλής-Γομοτής	Γόμωση	388	40	37

8	15/01/21	-130, -240_2, -240_3	20141102035 Personal	Χειριστής εκσκαφέας	Ξεσκάρωμα	432	115	86
9	22/01/21	-220 και -240_3	20141102030 Personal	Επικεφαλής- Γομοτής	Γόμωση	475	23	33
10	22/01/21	-280_2	20141102031 Personal	Χειριστής Αναψωτικού	Αγκύρωση	431	78	63
11	22/01/21	-220	20141102036 Personal	Χειριστής Αντλίας Μπετού	Gunite	409	32	65
12	1/02/21	-260_1, -260_3, - 240_3,-230_1	20141102035 Personal	Υποστήριξη	Αναμονή Αλλαγή Δικτύων	180	1	4

4.6 Σύγκριση Μετώπων

Στον πίνακα 4.11 γίνεται σύγκριση των τιμών των συγκεντρώσεων των επιβλαβών αερίων και σκόνης στον αέρα για την κάθε εργασία και στα δύο μέτωπα (το -132 και το -230_1). Επιλέχθηκαν για σύγκριση η πρώτη μέτρηση πριν ξεκινήσει μια εργασία (συγκέντρωση υποβάθρου) και η μέγιστη τιμή που καταγράφηκε κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης εργασίας (μετρήσεις 15 λεπτών).

Πίνακα 4.11 Σύγκριση των μέγιστων τιμών (15 min) των ρύπων και της σκόνης και για τα δύο μέτωπα για τις εκτελούμενες εργασίες.

Εργασίες που εκτελούνται		NO ppm		NO ₂ ppm		CO ₂ %		DUST m ³ /mg	
- 132 ΜΕΤΩΠΟ	-230_1 ΜΕΤΩΠΟ	- 132	-230_1	- 132	-230_1	- 132	-230_1	- 132	-230_1
ΞΕΣΚΑΡΩΜΑ :		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ	
(ΔΡΑΚΟΣ 6)		0,7	0,5	0	0	0,03	0,04	3,34	2,06
1 άτομο		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ	
		8,8	5,9	0,4	0,2	0,15	0,19	6,41	6,64
ΕΚΤΟΞΕΥΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ:		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ	
(ΒΑΡΕΛΑ 3, ΠΡΕΣΑ 3)	(ΠΡΕΣΑ 2, ΒΑΡΕΛΙ 8)	0,7	2,5	0	0,9	0,03	0,09	0,50	0,24
3 άτομα		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ	
		7,7	6,2	3,7	1,1	0,07	0,13	1,4	2,1
ΓΟΜΩΣΗ:		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ	
(ΑΝΥΨΩΤΙΚΟ 1)	(ΑΝΥΨΩΤΙΚΟ 3)	2,6	0	0	0	0,07	0,04	0,31	0,33
4 άτομα		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ	
		13,3	2,6	0,3	0,2	0,09	0,15	4,34	0,43
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ	
(ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟ 5)		0	0	0	0	0,02	0,04	0,15	0,14
		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ	
2 άτομα		1,8	1,8	1,9	0	1,8	0,09	0,16	2
ΔΙΑΤΡΗΣΗ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ		ΠΡΙΝ ΞΕΚΙΝΗΣΕΙ	
(ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟ 5)		2,6	0	0	0	0,07	0,07	0,10	0,04
		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ		ΜΕΤΑ	
2 άτομα		2,6	1,8	0	0	0,11	0,09	0,09	1,86

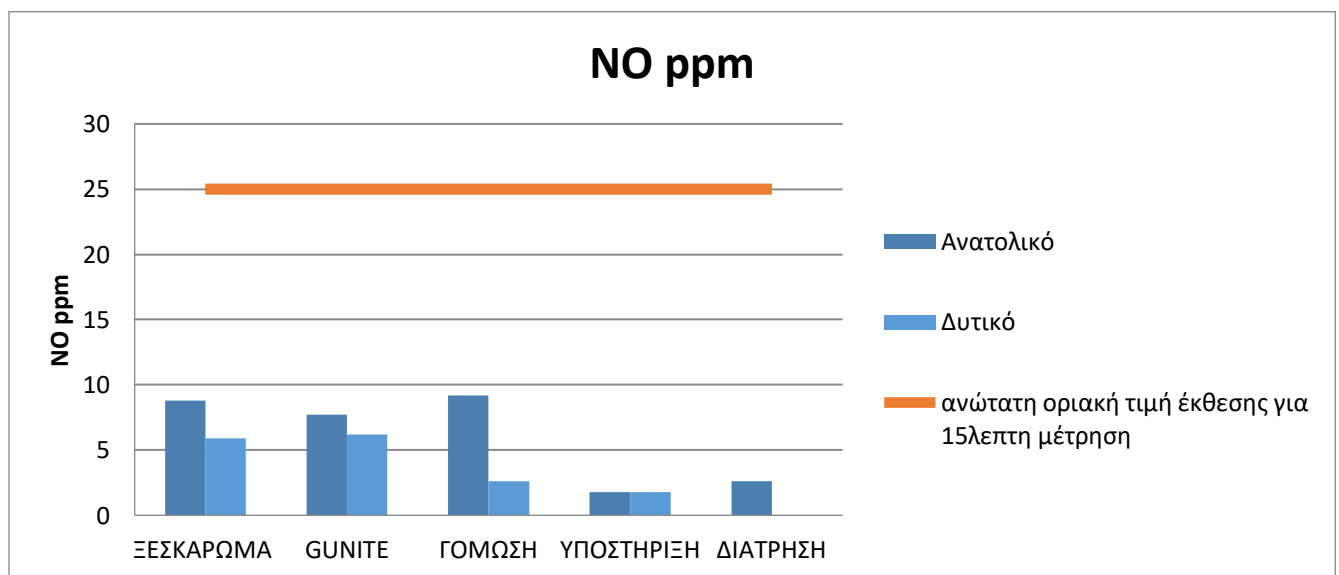
Στον πίνακα 4.11 παρατηρείται ότι η ατμόσφαιρα και στα δύο μέτωπα δεν είναι επιβαρυμένη διότι οι τιμές πριν ξεκινήσει η κάθε εργασία είναι χαμηλές. Και στα δύο μέτωπα οι τιμές μεταξύ τους δεν έχουν μεγάλη διαφορά. Το NO στο μέτωπο -132 έχει κάποιες τιμές αυξημένες σε εργασίες όπως το ξεσκάρωμα, η εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος και τη γόμωση. Στο ξεσκάρωμα οι τιμές είναι αυξημένες και για τα δύο μέτωπα, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στη συγκεκριμένη διεργασία απελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα σκόνης. Επίσης, στη συγκεκριμένη διεργασία και στα δύο μέτωπα δεν γινόταν διαβροχή του μετώπου.

Στα παρακάτω διαγράμματα γίνεται σύγκριση των τιμών του κάθε ρύπου, για την κάθε εργασία και στα δύο μέτωπα. Η σύγκριση πραγματοποιήθηκε για τα όρια των 15 λεπτών και του οκταώρου.

Σύγκριση τιμών με όρια για 15 λεπτά

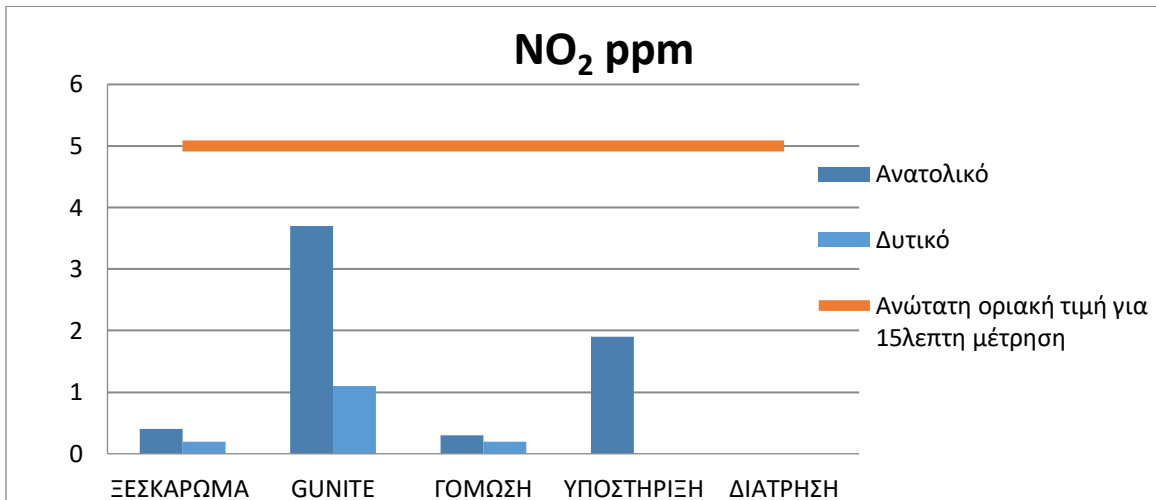
Για τη δημιουργία των διαγραμμάτων επιλέχθηκαν από τις μετρήσεις του κάθε ρύπου σε κάθε εργασία, η μέγιστη τιμή που καταγράφηκε στη διάρκεια των 15 λεπτών.

Στο παρακάτω σχήμα 4.11 παρατηρείται ότι όλες οι μετρήσεις του NO βρίσκονται εντός του ορίου σύμφωνα με τον ΚΜΛΕ. Στο ανατολικό μέτωπο παρατηρείται ότι η τιμή του μονοξειδίου του αζώτου είναι μεγαλύτερη από ότι στο δυτικό στις περισσότερες εργασίες.



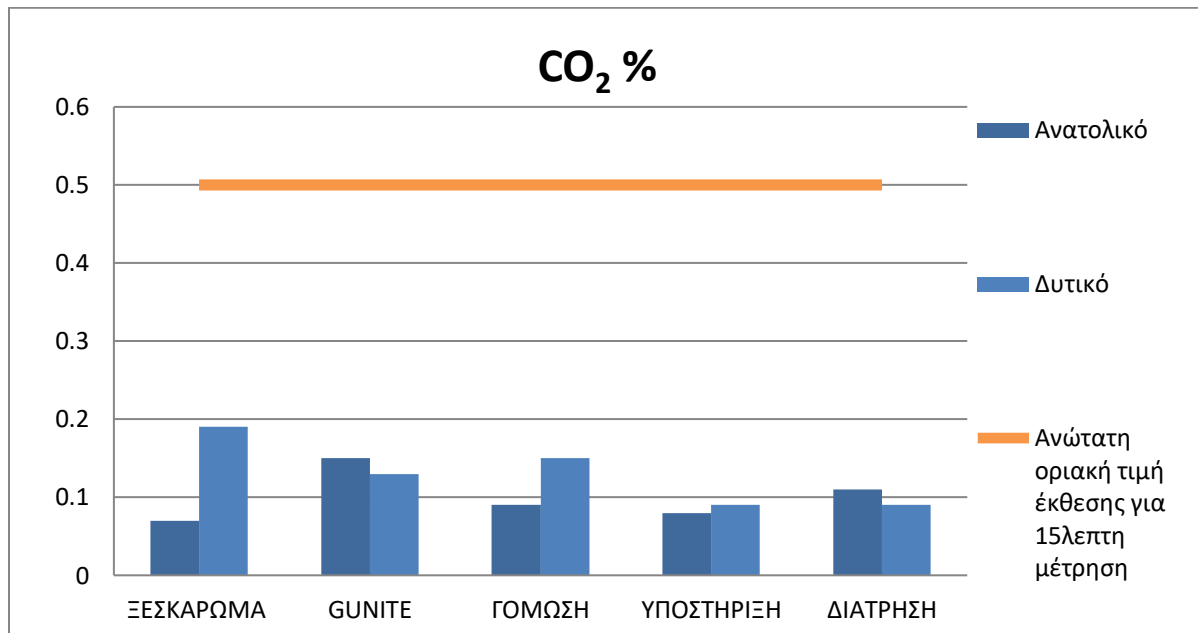
Σχήμα 4.11: Σύγκριση του NO και για τα δύο μέτωπα.

Στο σχήμα 4.12 παρατηρείται ότι όλες οι μετρήσεις του NO₂ βρίσκονται εντός του ορίου. Στο ανατολικό μέτωπο παρατηρείται ότι οι τιμές του διοξειδίου του αζώτου είναι μεγαλύτερες από ότι στο δυτικό και πιο συγκεκριμένα στις εργασίες εκτοξευμένο σκυρόδεμα και υποστήριξη.



Σχήμα 4.12: Σύγκριση του NO₂ και για τα δύο μέτωπα.

Στο παρακάτω σχήμα 4.13 παρατηρείται ότι όλες οι τιμές του CO₂ είναι εντός του ορίου. Στην υποστήριξη, στην γόμωση και στο ξεσκάρωμα οι τιμές στο δυτικό μέτωπο είναι μεγαλύτερες από το ανατολικό.

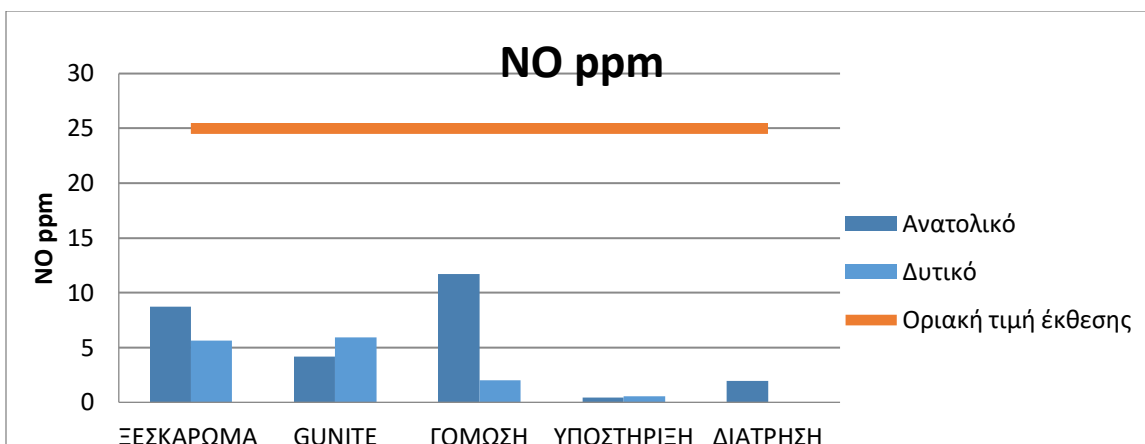


Σχήμα 4.13: Σύγκριση του CO₂ και για τα δύο μέτωπα.

Σύγκριση τιμών με όρια για 8ωρο

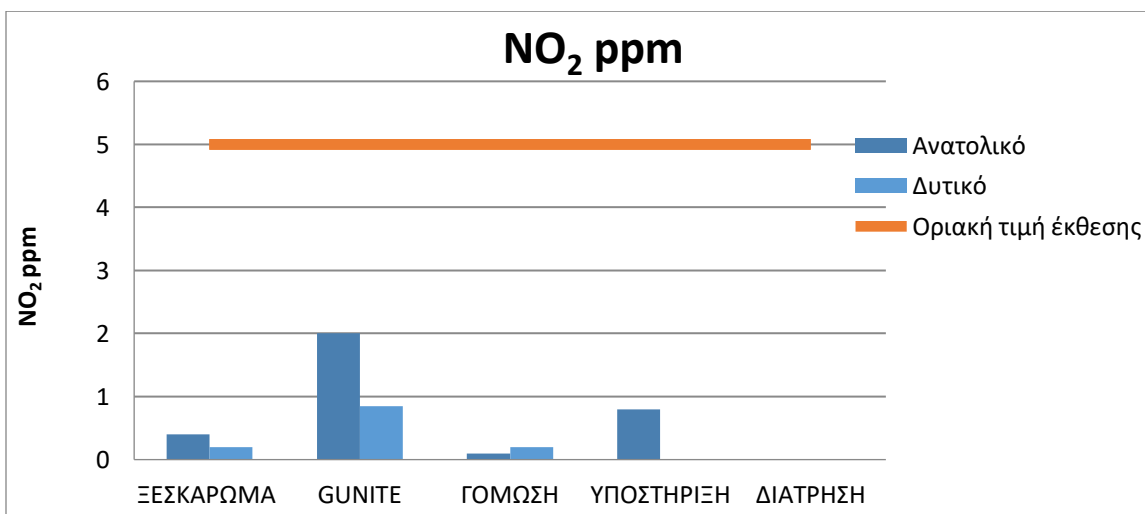
Για τη δημιουργία των διαγραμμάτων επιλέχθηκαν από τις μετρήσεις του κάθε ρύπου σε κάθε εργασία, η μέση τιμή του 8ώρου.

Στο σχήμα 4.14 παρατηρείται ότι όλες οι μετρήσεις σε NO βρίσκονται εντός του ορίου. Στο ανατολικό μέτωπο παρατηρείται ότι η τιμή του μονοξειδίου του αζώτου είναι μεγαλύτερη από ότι στο δυτικό και πιο συγκεκριμένα στη γόμωση.



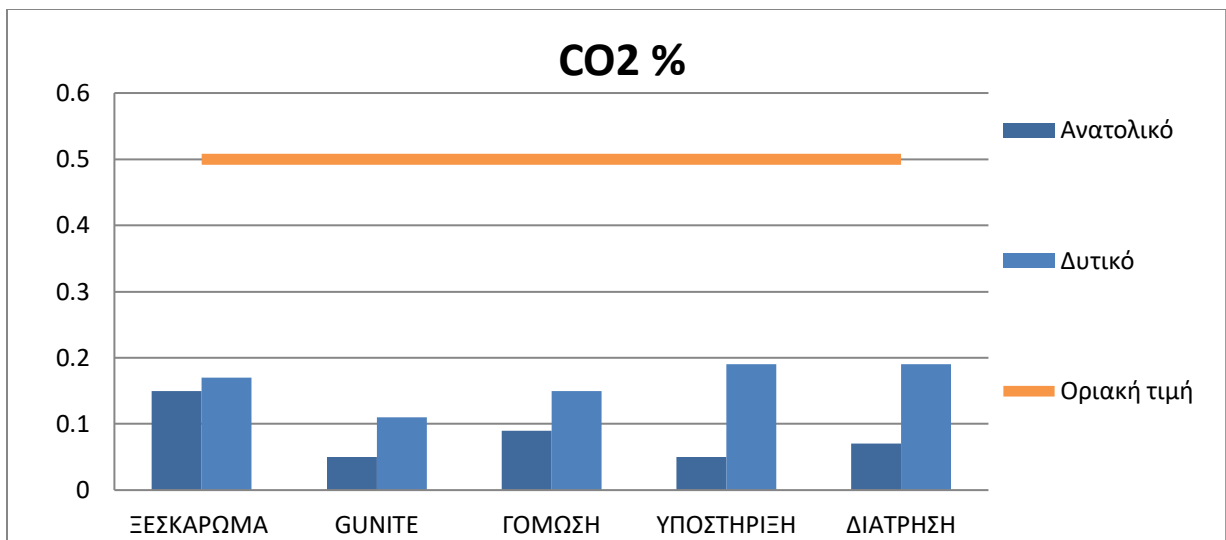
Σχήμα 4.14: Σύγκριση του NO και για τα δύο μέτωπα σε σχέση με την οριακή τιμή έκθεσης του οκταώρου.

Στο παρακάτω σχήμα 4.15 παρατηρείται ότι όλες οι μετρήσεις σε NO₂ βρίσκονται εντός του ορίου. Στο ανατολικό μέτωπο παρατηρείται ότι οι τιμές του NO₂ είναι μεγαλύτερες από ότι στο δυτικό, στις εργασίες εκτοξευμένο σκυρόδεμα και υποστήριξη, ενώ στην γόμωση είναι μεγαλύτερες στο δυτικό μέτωπο.



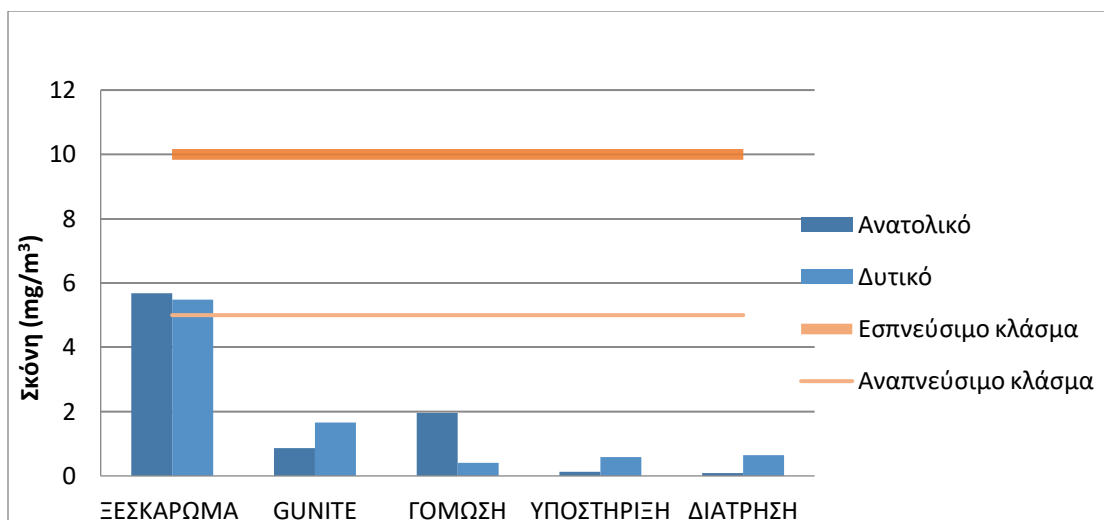
Σχήμα 4.15: Σύγκριση του NO₂ και για τα δύο μέτωπα σε σχέση με την οριακή τιμή έκθεσης.

Στο σχήμα 4.16 παρατηρείται ότι όλες οι μετρήσεις σε CO₂ βρίσκονται εντός του ορίου, οι τιμές του CO₂ είναι πιο αυξημένες στο δυτικό μέτωπο.



Σχήμα 4.16: Σύγκριση του CO₂ και για τα δύο μέτωπα σε σχέση με την οριακή τιμή.

Στο σχήμα 4.17 παρατηρείται ότι στο ξεσκάρωμα οι τιμές της σκόνης και για τα δύο μέτωπα είναι αυξημένες διότι στις εργασίες αυτές απελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα σκόνης. Η μέση τιμή ξεπερνάει το όριο του αναπνεύσιμου κλάσματος λόγω ότι και στα δύο μέτωπα δεν γινόταν διαβροχή μετώπου με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται ο αέρας με σκόνη.



Σχήμα 4.17: Σύγκριση της σκόνης και για τα δύο μέτωπα σε σχέση με την οριακή τιμή.

Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η συσχέτιση της ποιότητας του αέρα με τις δραστηριότητες των μετώπων σε υπόγειες εξορυκτικές δραστηριότητες της εταιρείας Ελληνικός Χρυσός, στο μεταλλείο της Ολυμπιάδας, με επί τόπου μετρήσεις. Επιλέχθηκαν δύο μέτωπα, το ανατολικό -132 και το δυτικό -230_1, όπου ο αερισμός των μετώπων αυτών γίνεται με φυσικό τρόπο και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα εξής αέρια: O_2 , H_2S , NO , NO_2 , CO , CO_2 . Ο τρόπος λήψης των μετρήσεων γινόταν από ασφαλή σημεία (κοντά στο μέτωπο και δίπλα στους εργαζομένους και τα μηχανήματα). Η λήψη της πρώτης μέτρησης γινόταν πριν ξεκινήσει η κάθε εργασία και μετά ακολουθούσε η δεύτερη μέτρηση κατά τη διάρκεια της εργασίας. Έπειτα καταγραφόταν μετρήσεις για βραχεία έκθεση, διάρκειας 15 λεπτών.

Εκτός από τις μετρήσεις των αερίων λήφθηκαν και μετρήσεις για την υγρασία και την θερμοκρασία με την ίδια διαδικασία. Μετρήθηκε επίσης και η συγκέντρωση της σκόνης. Το όργανο για την σκόνη δόθηκε στους χειριστές, ρυθμισμένο έτσι ώστε να καταγράφει μέτρηση κάθε 10 δευτερόλεπτα μέσα από την καμπίνα του μηχανήματος, όπου είναι ο χώρος εργασίας του. Τέλος, λήφθηκαν και μετρήσεις για τα σωματίδια ντίζελ (DPM).

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων και στα δύο μέτωπα παρατηρήθηκε ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων των επιβλαβών αερίων (NO , NO_2 , H_2S , CO_2 , CO) είναι χαμηλότερες των ορίων που θέτει ο ΚΜΛΕ. Επίσης οι τιμές του ΔOY κυμαίνονται εντός των ορίων του ΚΜΛΕ. Για τις μετρηθείσες τιμές της συγκέντρωσης της σκόνης παρατηρήθηκε ότι σε περιορισμένες περιπτώσεις υπήρξε μικρή υπέρβαση της οριακής τιμής για το αναπνεύσιμο κλάσμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι εκείνη την στιγμή ο αέρας ήταν επιβαρυσμένος λόγω του ότι τα μέτωπα αερίζονται φυσικά και δεν υπήρχε αρκετός χρόνος ώστε να αεριστούν από την προηγούμενη εργασία. Επίσης και στα δύο μέτωπα δεν γινόταν διαβροχή του μετώπου κατά τη διάρκεια της απομάκρυνσης των επισφαλών όγκων (ξεσκάρωμα) με αποτέλεσμα να δημιουργείται αυξημένη συγκέντρωση σκόνης.

Από τη σύγκριση των τιμών των παραμέτρων ποιότητας του αέρα στα δυο μέτωπα προέκυψε ότι:

Σύγκριση τιμών με όρια για 15 λεπτά: Στο ανατολικό μέτωπο παρατηρήθηκε ότι η τιμή του μονοξειδίου του αζώτου είναι μεγαλύτερη από ότι στο δυτικό στις περισσότερες εργασίες. Στο ανατολικό μέτωπο παρατηρήθηκε ότι οι τιμές του διοξειδίου του αζώτου είναι μεγαλύτερες από ότι στο δυτικό και πιο συγκεκριμένα στην εργασίες εκτοξευμένο

σκυρόδεμα και υποστήριξη. Επίσης οι τιμές του CO₂ στην υποστήριξη στο δυτικό μέτωπο είναι αυξημένες.

Σύγκριση τιμών με όρια για 8ωρο: Στο ανατολικό μέτωπο παρατηρήθηκε ότι η τιμή του μονοξειδίου του αζώτου είναι μεγαλύτερη από ότι στο δυτικό και πιο συγκεκριμένα στην γόμωση. Στο ανατολικό μέτωπο παρατηρήθηκε ότι οι τιμές του NO₂ είναι μεγαλύτερες από ότι στο δυτικό, στις εργασίες εκτοξευμένο σκυρόδεμα και υποστήριξη, ενώ στην γόμωση είναι πιο αυξημένες στο δυτικό μέτωπο. Παρατηρείται ότι στην υποστήριξη και στη γόμωση οι τιμές του CO₂ είναι πιο αυξημένες στο δυτικό μέτωπο. Παρατηρείται ότι στις εργασίες ξεσκάρωμα και υποστήριξη οι τιμές της σκόνης και για τα δύο μέτωπα είναι αυξημένες. Αυτό οφείλεται στο ότι στις εργασίες αυτές απελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα σκόνης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής βιβλιογραφία

1. Andrzej Szczurek, Monika Maciejewska, Marcin Przybyła and Wacław Szetelnicki . (2020) Improving Air Quality for Operators of Mobile Machines in Underground Mines. Publisher of Open Access Journals. doi.org/10.3390/atmos11121372.
2. Bakke B,P Stewart, B Ulvestad and W Eduart. (2001) Dust and gas exposure in tunnel construction work. National Library Of Medicine.doi: 10.1080/15298660108984647.
3. Chang Pinh, Xu Guang. (2017) A review of the health effects and exposure-responsible relationship of diesel particulate matter for underground mines. International Journal of Mining Science and Technology. doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.020.
4. Evangelos Tzamos, Argyrios Papadopoulos, Giovanni Grieco, Stylianos Stoulos, Micol Bussolesi, Emmanouil Daftsis, Eleftheria Vagli, Dimitrios Dimitriadis and Athanasios Godelitsas (2019). Investigation of Trace and Critical Elements (Including Actinides) in Flotation Sulphide Concentrates of Kassandra Mines (Chalkidiki, Greece).MDPI. doi.org/10.3390/geosciences9040164.
5. Frei, R., (1992). Isotope (Pb, Rb-Sr, S, O, C, U-Pb) geochemical investigations on Tertiary intrusives and related mineralizations in the Serbomacedonian Pb-Zn, Sb + Cu-Mo metallogenetic province in northern Greece. Ph.D. Thesis, ETH, Zurich, p. 231.
6. Hartman H. L., Mutmanský J. M., Wang Y. J., (1982). Mine Ventilation and Air Conditioning – 2nd Edition, a Wiley – Interscience publication John Wiley and sons.
7. Hall, C. J., (1981). Mine Ventilation Engineering, Society of Mining Engineers of The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc. New York.
8. Huanbo Wanga, Leiming Zhangb, Xiaohong Yaoc, Irene Chengb and Ewa Dabek-Zlotorzynskad. (2022). Identification of decadal trends and associated causes for organic and elemental carbon in PM_{2.5} at Canadian urban sites. Environment International. doi.org/10.1016/j.envint.2021.107031.
9. Technical Report, Hellas Gold /AMC -719010 Eldorado Olympias CP,(2019) AS A.
10. Kissell, F.N. , Handbook for Dust Control in Mining, , U.S. Department of Health and Human services, Public Health Service Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health Pittsburgh Research Laboratory Pittsburgh, p. 73-80.
11. Kockel & Walther. (1968) Geology and geochronology of the Arnea, Sithonia and Ouranopolis intrusions, Chalkidiki peninsula, northern Greece. Tectonophysics, pages 65-79.
12. Kydonakis, K., Moulas, E., Chatzitheodoridis, E., Brun, J.-P., Kostopoulos, D., (2015b). Firstreport on Mesozoic eclogite-facies metamorphism preceding Barrovian

overprint from the western Rhodope (Chalkidiki, northern Greece), Lithos 220–223, 147–163.

13. McPherson, M., (1993). Subsurface Ventilation and Environmental Engineering, Chapman and Hall.
14. National Institute for Occupational Safety and Health, (2018). Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Carbon Monoxide.
15. National Institute for Occupational Safety and Health Hydrogen Sulfide(NIOSH). (2019) Hydrogen Sulfide.Centers for Disease Control and Prevention.
16. Paginas De Delphi. (2020) Air pollution caused by underground mining and its abatement measures in Africa. The Extractive Industries and Society. doi.org/10.1016/j.exis.2020.08.004
17. Aerosols Handbook: Measurement, Dosimetry, and Health Effects.(2005). Lev S. Ruzer, Naomi H. Harley. CRC Press
18. Zoran D.,Branka Miljevic, Nicholas C. Surawski, Lidia Morawska, Kwun M. Fong, Felicia Goh, Ian A. Yang. (2011).Respiratory health effects of diesel particulate matter.Official Journal of the Asian Pacific Society of Respiriology. Pages 201-212. doi.org/10.1111/j.1440-1843.2011.02109.x

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της εργασίας (ΕΛ.ΙΝ.ΥΑ)., Ορυχεία-Μεταλλεία, Α έκδοση, Αθήνα, Ιούνιος 2007 p8-12,103-104
2. Επαγγελματικά και Περιβαλλοντικά Νοσήματα των Πνευμόνων,Εκδόσεις της ελληνικής πνευμονολογικής εταιρίας, Αθήνα,2007.
3. Θεοδορούδης Α. και Αρβανιτίδης Ν. (1999) Αρχαίες μεταλλευτικές εργασίες στην περιοχή Βίνας της ΒΑ Χαλκιδικής.
4. Θεοδορούδης Α. και Γαλανόπουλος Β. (1994) Τα μαγγανιούχα κοιτάσματα της ΒΑ Χαλκιδικής.σελ 519-531/Ανάπτυξη στο Γεωπεριβάλλον, Νερά – Γεωθερμία – Ορυκτά και ποιότητα ζωής στην Κεντρική Μακεδονία. (2000).
5. Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ) Αθήνα,2011.
6. Μαντέλα, Α., Σύστημα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης και Εφαρμοσιμότητά του στις Μεταλλευτικές Εγκαταστάσεις της Ελληνικός Χρυσός Α.Ε στην Κασσάνδρα Χαλκιδικής. Διπλωματική Εργασία, Θεσσαλονίκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών,2017.
7. Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων Μεταλλευτικών – Μεταλλουργικών εγκαταστάσεων της εταιρίας Ελληνικός Χρυσός στη Χαλκιδική, Αθήνα, Envecο Α.Ε., 2010
8. Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων,Ελληνικός Χρυσός, Ολυμπιάδας,2011.
9. Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων,Ελληνικός Χρυσός, Ολυμπιάδας, 2018.

10. Οικονομόπουλος, Ι., (1991). Ο αερισμός των μεταλλείων, Εκδόσεις Σ. Αθανασόπουλος – Σ. Παπαδάμης και Σια Ε.Ε.
11. Σχεδιασμός συστημάτων υπόγειων έργων για την εκμετάλλευση μεταλλευτικών κοιτασμάτων, Εξαδάκτυλος, Χανιά, 2005.
12. Τεχνική Μελέτη Μεταλλευτικές Εγκαταστάσεις Ολυμπιάδας, Ελληνικός Χρυσός, 2011
13. Υγιεινή και Ασφάλεια σε Μεταλλευτικά και Υπόγεια Έργα, Γαλετάκης Μ, Χανιά 2019

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. <http://ikee.lib.auth.gr/record/113008/files> (πρόσβαση στις 18 Οκτωμβρίου 2021)
2. <http://www.orykta.gr/ekmetalleusi-emploutismos/20-methodoi-ekmetalleysis> (πρόσβαση στις 12 Σεπτεμβρίου 2021)
3. kestrelmeters.com (πρόσβαση στις 6 Οκτωμβρίου 2021)
4. <https://issuu.com/hellasgold/docs/annual-report-hellas-gold-2016> (πρόσβαση στις 12 Σεπτεμβρίου 2021)
5. <https://www.metalleiachalkidikis.gr/metalleia-chalkidikis-metallleftiki-istoria-synchroni-epochi.html> (πρόσβαση στις 12 Σεπτεμβρίου 2021)
6. tsi.com (πρόσβαση στις 6 Οκτωμβρίου 2021)
7. www.hellas-gold.com (πρόσβαση στις 12 Σεπτεμβρίου 2021)
8. http://files.hellas-gold.com/mpe/Parartima_II.pdf (πρόσβαση στις 12 Σεπτεμβρίου 2021)