



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Εκτίμηση των εκπομπών αερομεταφερόμενων
σωματιδιακών ρύπων από συγκρότημα παραγωγής
αδρανών υλικών και σκυροδέματος»**

ΚΙΡΚΙΝΕΖΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Εξεταστική επιτροπή:

Αν. Καθηγητής Μιχαήλ Γαλετάκης (επιβλέπων)

Καθηγητής Κων/νος Κομνίτσας

Δρ. Κων/νος Κακλής

Χανιά, 2014

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις των εξεταστών

Αφιερώνεται στην ανιψιά μου, Κατερινούλα,
που ήρθε στη ζωή μας και την έκανε πιο φωτεινή....

Πρόλογος-Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω όλους εκείνους που βοήθησαν στην πραγματοποίηση της.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα μου Αν. Καθηγητή Γαλετάκη Μιχαήλ, για την ανάθεση του θέματος, τη διόρθωση της εργασίας, τις συμβουλές του, τη βοήθεια που μου προσέφερε, την ενθάρρυνση του και την άριστη συνεργασία μας καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Κων/νο Κομνίτσα και τον Δρ. Κω/νο Κακλή για το χρόνο που διέθεσαν για τη διόρθωση και αξιολόγηση της εργασίας, καθώς και για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια που σπούδαζα στη σχολή και με βοήθησαν να γίνω ο άνθρωπος που είμαι σήμερα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τις φίλες μου Θεοφανοπούλου Άννα και Δασκαλάκη Κατερίνα που με βοήθησαν σε διάφορα θέματα για την ολοκλήρωση της εργασίας και που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια που περάσαμε μαζί σε αυτή τη σχολή καθώς και την υπόλοιπη παρέα μου που περάσαμε αρκετά όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Οι αιωρούμενοι σωματιδιακοί ρύποι, γνωστοί ως σκόνη, αποτελούν ένα από τα πιο σοβαρά προβλήματα στους χώρους εργασίας του λατομικού και μεταλλευτικού κλάδου. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη άμεση μέτρηση και στη συνέχεια αποτύπωση της συγκέντρωσης της σκόνης που παράγεται σε μονάδα παραγωγής αδρανών υλικών και σκυροδέματος.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε η σχετική βιβλιογραφική ανασκόπηση για το πρόβλημα της σκόνης στο λατομικό και μεταλλευτικό κλάδο και περιγράφηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων, οι πηγές και τρόποι παραγωγής τους, η ταξινόμηση τους, η ατμοσφαιρική συμπεριφορά τους και οι επιπτώσεις που έχουν στην υγεία των εργαζομένων και στο περιβάλλον.

Στη συνέχεια αναπτύχθηκε η διαδικασία μέτρησης και εκτίμησης της συγκέντρωσης της σκόνης, πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, έγινε εκτίμηση του συντελεστή εκπομπών σκόνης των πηγών παραγωγής (πρωτογενής-δευτερογενής θραύση, μεταφορά, απόθεση), δημιουργία σεναρίων για την επιβάρυνση του εργασιακού χώρου συνυπολογίζοντας και τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής και σύγκριση με τα νομοθετημένα όρια. Για την άμεση μέτρηση της συγκέντρωσης της σκόνης χρησιμοποιήθηκε η συσκευή DustTrak που έχει τη δυνατότητα μέτρησης τριών κλασμάτων αιωρούμενων σωματιδίων (PM₁₀, PM_{2.5} και PM_{1.0}). Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν στον εργασιακό χώρο της εταιρείας ΒΟΛΑΚ ΕΠΕ, που έχει ως αντικείμενο την παραγωγή αδρανών υλικών και έτοιμου σκυροδέματος και βρίσκεται στην περιοχή του ποταμού Εύηνου, στο Μεσολόγγι. Τα σενάρια για επιβάρυνση του εργασιακού χώρου σε σκόνη που δημιουργήθηκαν αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς συνδυασμούς παραγωγικών διαδικασιών και μετεωρολογικών συνθηκών και είχαν σαν στόχο να εντοπίσουν τις πλέον επιβαρυνμένες θέσεις εργασίας του εργοταξίου .

Τέλος με βάση τις άμεσες μετρήσεις και τις εκτιμήσεις που προέκυψαν από τα διαφορετικά σενάρια εκτιμήθηκε η επικινδυνότητα των θέσεων εργασίας, όσον αφορά την έκθεση των εργαζομένων σε σκόνη, και προτάθηκαν μέτρα αντιμετώπισης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος πινάκων	1
Κατάλογος σχημάτων	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Αιωρούμενα Σωματίδια	8
2.1 Εισαγωγή-Ορισμός	8
2.2 Πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων	9
2.3 Ταξινόμηση Σκόνης	10
2.4 Βασικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων	10
2.4.1 Μέγεθος σωματιδίων	10
2.4.2 Σχήμα σωματιδίου	12
2.4.3 Πυκνότητα σωματιδίου	12
2.5 Επιπτώσεις Σκόνης	12
2.5.1 Γενικά	12
2.5.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον	13
2.5.3 Επιδράσεις της σκόνης στην ανθρώπινη υγεία	13
2.5.4 Επιπτώσεις στην ασφάλεια και στην παραγωγικότητα	14
2.6. Νομοθετικό Πλαίσιο	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ατμοσφαιρική συμπεριφορά και διάχυση των αιωρούμενων σωματιδίων. ...	17
3.1 Συμπεριφορά των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα	17
3.2 Φαινόμενο Διάχυσης	18
3.3 Ατμοσφαιρική συμπεριφορά σκόνης	19
3.3.1 Η επίδραση του ανέμου στα επίπεδα ρύπανσης	20
3.3.2 Εκτίμηση της εκλυόμενης σκόνης	21
3.4 Χρόνος ζωής των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα	21
3.5 Χρήση μοντέλων διασποράς της σκόνης	22
3.6 Πρόληψη και έλεγχος της σκόνης σε μεταλλεία - λατομεία	24
3.6.1 Η χρήση νερού για καταστολή της σκόνης	25
3.6.2 Πρόληψη και Ενημέρωση προσωπικού	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Μετρήσεις σκόνης στο εργοτάξιο και επεξεργασία των στοιχείων	27
4.1 Στρατηγική διαδικασίας μετρήσεων	27

4.2 Περιγραφή της υπό μελέτη εταιρίας και των παραγωγικών διαδικασιών.....	27
4.2.1 Περιγραφή της διαδικασίας πρωτογενούς θραύσης με σιαγωννωτούς θραυστήρες	30
4.2.2 Περιγραφή της διαδικασίας δευτερογενούς θραύσης με κρουστικό θραυστήρα ...	33
4.2.3 Περιγραφή της διαδικασίας τριτογενούς θραύσης (τριβείο).....	33
4.3 Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις δειγματοληψίες	34
4.3.1 Αρχή λειτουργίας του οργάνου Dust-Track	34
4.4. Διενέργεια μετρήσεων	38
4.5 Επεξεργασία μετρήσεων	43
4.5.1 Θραυστήρας.....	44
4.5.2 Τριβείο	46
4.5.3 Διέλευση οχημάτων	50
4.5.4 Κλάσματα σκόνης ανά πηγή εκπομπής	52
4.5.5 Εκτίμηση εκπομπών σκόνης ανά μηχανήμα.....	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	65
5.1 Συμπεράσματα	65
5.2 Προτάσεις - Μέτρα αντιμετώπισης	66
Βιβλιογραφία.....	68

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 4.1: Πίνακας μετρήσεων με τη βοήθεια του οργάνου DustTrak.....	41
Πίνακας 4.2 : Στοιχεία μετρήσεων.....	43
Πίνακας 4.3: Μετεωρολογικές συνθήκες κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών.....	45
Πίνακας 4.4: Μετρήσεις της συγκέντρωσης της σκόνης για το κλάσμα PM10 (<10μm).....	47
Πίνακας 4.5: Μετρήσεις της συγκέντρωσης της σκόνης για το κλάσμα PM2.5 (<2.5μm).....	47
Πίνακας 4.6: Μετρήσεις της συγκέντρωσης της σκόνης για το κλάσμα PM1.0 (<1.0μm).....	48
Πίνακας 4.7: Κοκκομετρική κατανομή της σκόνης που παράγεται στο θραυστήρα.....	50
Πίνακας 4.8: Ποσότητες σκόνης που παράγονται στο τριβείο (πρώτη σειρά μετρήσεων).....	52
Πίνακας 4.9: Ποσότητες σκόνης που παράγονται στο τριβείο (δεύτερη σειρά μετρήσεων).....	54
Πίνακας 4.10: Συγκεντρώσεις σκόνης που σχετίζονται με τη διέλευση οχημάτων.....	56
Πίνακας 4.11: Ημερήσια παραγωγή κάθε μηχανήματος.....	62
Πίνακας 4.12: Μετεωρολογικά στοιχεία σε μηνιαία βάση.....	63
Πίνακας 4.13: Μέσες τιμές συγκεντρώσεων σε θέση μέτρησης πριν τα μηχανήματα.....	66
Πίνακας 4.14: Μέσες τιμές συγκεντρώσεων σε θέση μέτρησης μετά τα μηχανήματα.....	66

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 2.1: Κατηγορίες και μεγέθη των αιωρούμενων σωματιδίων. Στον κάθετο άξονα απεικονίζεται η σχετική συγκέντρωση μάζας ενώ ο οριζόντιος είναι η αεροδυναμική διάμετρος σωματιδίου (Central Pollution_Control Board).....	13
Σχήμα 2.2: Εναπόθεση αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα ανάλογα με το μέγεθος τους.....	16
Σχήμα 2.3: Απεικόνιση της μεταβολής της ορατότητας σε km, ανάλογα με τη συγκέντρωση της μάζας των αιωρούμενων σωματιδίων ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	20
Σχήμα 3.1: Τυπική εικόνα που δείχνει τη χωρική κατανομή της συγκέντρωσης της σκόνης με τη χρήση ενός μοντέλου διασποράς (Sabah, 2006).....	28
Σχήμα 3.2: Διάταξη για τον έλεγχο της παραγόμενης σκόνης κατά την εκφόρτωση υλικών από χωματουργικά αυτοκίνητα σε θραυστήρα (Kissel, 2003).....	29
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας θραύσης/πλύσης του εργοταξίου.	34
Σχήμα 4.2: Σχηματική διάταξη σιαγωγωτού σπαστήρα απλού βραχίονα (Σταμπολιάδης, 2008).....	36
Σχήμα 4.3: Τομή σιαγωγωτού σπαστήρα διπλού βραχίονα (Σταμπολιάδης, 2008).....	36
Σχήμα 4.4: Σιαγωγωτός θραυστήρας.....	36
Σχήμα 4.5: Κρουστικός θραυστήρας.....	38
Σχήμα 4.6: Φυγοκεντρικός θραυστήρας.....	39
Σχήμα 4.7: TSI 8520 DustTrack Airborne Particle Monitor και σχηματική παράσταση λειτουργίας του..40	
Σχήμα 4.8: Χρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων σκόνης δύο διαφορετικών μετρήσεων που ελήφθησαν με τη βοήθεια του οργάνου DustTrak και επεξεργάστηκαν με το λογισμικό TrakPro (version 4.2.015) της TSI.....	42
Σχήμα 4.9: Όργανο μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας του αέρα τύπου TSI VelociCalc.....	42
Σχήμα 4.10 : Γενική κάτοψη του εργοταξίου και θέσεις μετρήσεων, σε κλίμακα 1:500.....	44
Σχήμα 4.11: Θέσεις μετρήσεων.....	45
Σχήμα 4.12: Επιλογή θέσεων για τη μέτρηση της συγκέντρωσης της σκόνης που προέρχεται από ένα συγκρότημα που λειτουργεί.....	46
Σχήμα 4.13: Συγκεντρώσεις των μέσων και μέγιστων τιμών στα κλάσματα PM ₁₀ , PM _{2.5} και PM _{1.0}	49
Σχήμα 4.14 : Αναλογία κλασμάτων PM _{10-2.5} PM _{2.5-1} και PM ₁ στη σκόνη που παράγει ο θραυστήρας (% κ.β).....	50
Σχήμα 4.15: Συγκεντρώσεις των μέσων και μέγιστων τιμών στα κλάσματα PM ₁₀ , PM _{2.5} και PM _{1.0}	51
Σχήμα 4.16: Αναλογία κλασμάτων σκόνης που παράγει το τριβείο σε % κ.β. (πρώτη σειρά μετρήσεων).....	52
Σχήμα 4.17: Συγκεντρώσεις των μέσων και μέγιστων τιμών στα κλάσματα PM ₁₀ , PM _{2.5} και PM _{1.0}	53
Σχήμα 4.18: Αναλογία των κλασμάτων της σκόνης που παράγει το τριβείο % κ.β. (δεύτερη σειρά μετρήσεων).....	54

Σχήμα 4.19: Συγκεντρώσεις των μέσων και μέγιστων τιμών στα κλάσματα PM ₁₀ , PM _{2.5} και PM _{1.0}	55
Σχήμα 4.20: Αναλογία κλασμάτων σκόνης που παράγεται κατά την διέλευση οχημάτων.....	56
Σχήμα 4.21: Συγκριτικό διάγραμμα μέσων και μέγιστων τιμών σε θέση μέτρησης πριν και μετά από όλα τα μηχανήματα με το φίλτρο 10μm (PM ₁₀).....	57
Σχήμα 4.22: Συγκριτικό διάγραμμα μέσων και μέγιστων τιμών σε θέση μέτρησης πριν και μετά από όλα τα μηχανήματα με το φίλτρο 2.5μm (PM _{2.5}).....	58
Σχήμα 4.23: Συγκριτικό διάγραμμα μέσων και μέγιστων τιμών σε θέση μέτρησης πριν και μετά από όλα τα μηχανήματα με το φίλτρο 1.0μm (PM _{1.0}).....	58
Σχήμα 4.24: Προέλευση κλάσματος PM ₁₀ κατά την λειτουργία θραυστήρα και τριβείου.....	59
Σχήμα 4.25: Προέλευση κλάσματος PM _{2.5} κατά την λειτουργία θραυστήρα, τριβείου και διέλευσης οχημάτων.....	60
Σχήμα 4.26: Προέλευση κλάσματος PM ₁ κατά τη λειτουργία θραυστήρα, τριβείου και διέλευσης οχημάτων.....	60
Σχήμα 4.27: Ενδεικτική απεικόνιση των περιοχών που επιβαρύνονται περισσότερο με σκόνη όταν οι επικρατούντες άνεμοι είναι βορειοανατολικοί (BA).....	64
Σχήμα 4.28: Ενδεικτική απεικόνιση των περιοχών που επιβαρύνονται περισσότερο με σκόνη όταν οι επικρατούντες άνεμοι είναι νοτιοδυτικοί (ΝΔ).....	65
Σχήμα 4.29: Σύγκριση συγκεντρώσεων με την κατεύθυνση του ανέμου.....	66
Σχήμα 4.30: Σύγκριση συγκεντρώσεων με την κατεύθυνση του ανέμου.....	67
Σχήμα 4.31: Σύγκριση μέσων τιμών των συγκεντρώσεων (<10μm) με το νομοθετικό όριο.....	68
Σχήμα 4.32: Σύγκριση μέγιστων τιμών συγκεντρώσεων (<10μm) με το νομοθετικό όριο.....	68
Σχήμα 4.33: Σύγκριση μεσαίων τιμών συγκεντρώσεων των PM _{2,5} (<2.5μm) με το νομοθετικό όριο.....	69
Σχήμα 4.34: Σύγκριση μέγιστων τιμών συγκεντρώσεων των PM _{2,5} (<2.5μm) με το νομοθετικό όριο.....	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

Οι εκπομπές αερομεταφερόμενων στερεών σωματιδίων (σκόνη) είναι ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν όλες σχεδόν οι εκμεταλλεύσεις ορυκτών πρώτων υλών. Η σκόνη παράγεται μέσω μιας σειράς διεργασιών που ξεκινούν από την εξόρυξη, την κατάτμηση (θραύση-λειοτρίβηση), την μεταφορά και απόθεση των ορυκτών πρώτων υλών. Ο κύριος μηχανισμός δημιουργίας των αερομεταφερόμενων στερεών σωματιδίων είναι οι διαδικασίες της κατάτμησης. Κατάτμηση ονομάζουμε γενικώς την ελάττωση του μεγέθους των τεμαχίων των πετρωμάτων ή/και βιομηχανικών ορυκτών. Η κατάτμηση αρχίζει μετά την εξόρυξη του υλικού και σε μερικές περιπτώσεις γίνεται στο μεταλλείο, υπόγεια ή επιφανειακά. Οι διεργασίες που ευθύνονται κατά κύριο λόγο με την εκπομπή σκόνης σε ένα υπαίθριο ορυχείο είναι: η θραύση, λειοτρίβηση, κοσκίνιση, η φόρτωση του υλικού, η μεταφορά, η απόθεση του με χωματουργικά αυτοκίνητα και διακίνηση του. Η σκόνη είναι δυνητικά επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, επιβαρύνει τον εργασιακό χώρο και επιδρά δυσμενώς στην παραγωγικότητα του μεταλλείου (Petavratzi et al., 2005).

Ο έλεγχος και ο περιορισμός των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ένα μείζον θέμα στον μεταλλευτικό-λατομικό βιομηχανικό κλάδο και πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με αυτό.

Ο Kissel (2003) έγραψε ένα εγχειρίδιο το οποίο περιγράφει την ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων σε ορυχεία και σήραγγες. Στόχος του είναι να βοηθήσει τον αναγνώστη στην κατανόηση του ελέγχου της σκόνης, μιας και το πρόβλημα έχει διάφορους τρόπους αντιμετώπισης σε κάθε περίπτωση. Αναφέρεται τόσο σε υπόγεια όσο και σε υπαίθρια ανθρακωρυχεία. Επίσης αναφέρει ότι ο έλεγχος της σκόνης δεν είναι ένα απλό θέμα για αυτό και είναι δύσκολο να εξαλειφθεί. Δυστυχώς πολλές φορές οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται μειώνουν την σκόνη κατά 20% έως 50%, που είναι μεν σημαντικό αλλά όχι αρκετό. Για αυτό το λόγο το εγχειρίδιο προτείνει συνδυασμούς μεθόδων για καλύτερα αποτελέσματα (Kissel, 2003).

Οι Appleton et al., (2007) δημοσίευσαν ένα άρθρο το οποίο αναφέρεται στην δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων σκόνης κατά την επιφανειακή εξόρυξη ορυκτών, η

οποία χωρίς τα απαιτούμενα μέτρα πρόληψης θα δημιουργήσει προβλήματα στην υγεία των εργαζομένων και θα οδηγήσει και σε άλλες δυσμενείς καταστάσεις. Πηγές εκπομπής μπορεί να είναι χώροι μεταφοράς, απόθεσης, φόρτωσης, ανατινάξεις καθώς και τροφοδοσία θραυστήρων. Αναφέρεται σε μια σειρά αποτελεσμάτων από προκαταρκτικές εκτιμήσεις διασποράς της σκόνης στον εργασιακό χώρο με τη χρήση λογισμικού που μοντελοποιεί την μεταφορά της σκόνης στην ατμόσφαιρα (ADMS 3.1). Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε σε ένα λατομείο ασβεστολίθου στο Ηνωμένο Βασίλειο και είχε στόχο την απεικόνιση της διασποράς της σκόνης, την επιρροή των μετεωρολογικών συνθηκών σε αυτήν αλλά και την επίδραση που έχει η μορφολογία του εδάφους στην διασπορά. Το άρθρο καταλήγει στα συμπεράσματα ότι η θέση της πηγής εκπομπής αλλά και η δυναμικότητα παραγωγής της, το έδαφος και οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες αλληλεπιδρούν με πολύπλοκο τρόπο στην δημιουργία και διασπορά της σκόνης. Επιπλέον στα συμπεράσματα αναφέρονται μέτρα αντιμετώπισης και τρόποι προστασίας για το συγκεκριμένο λατομείο (Appleton et al., 2007).

Το Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας (ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.) την περίοδο Απρίλιος 2004-Μάρτιος 2005 υλοποίησε μια μελέτη επικινδυνότητας με τίτλο «Λατομεία-Ορυχεία». Για την υλοποίηση της διενεργήθηκε πρωτογενής έρευνα πεδίου σε επιχειρήσεις του κλάδου, καθώς και δευτερογενής από δημοσιεύματα, συγγράμματα και σχετικό υλικό. Σκοπός της είναι η έρευνα των συνθηκών εργασίας όσον αναφορά την υγιεινή και την ασφάλεια των εργαζομένων στον κλάδο. Με την εκτίμηση και την εξακρίβωση της επικινδυνότητας και των συνθηκών εργασίας στο κλάδο αποτυπώνεται η γενική εικόνα του σε σχέση με την υγεία και την ασφάλεια της εργασίας. Τέλος, στην μελέτη αναφέρει τα προβλήματα που επικρατούν στις υπόγειες και στις επιφανειακές εκμεταλλεύσεις καθώς και διάφορους τρόπους αντιμετώπισης τους (ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε, 2007).

Στην εργασία που εκπονήθηκε από τους Μεσσάρη κ.α (2005), γίνεται αναφορά στις μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στην Ελλάδα, τα οποία παρουσιάζουν σημαντικές υπερβάσεις των ορίων της ισχύουσας Οδηγίας (99/30/ΕΕ) και η παρουσία τους μπορεί σε μεγάλο βαθμό, να αποβεί επιβαρυντική για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Στην εργασία αυτή προτείνονται συγκεκριμένα μέτρα για την αντιμετώπιση του διαρκώς αυξανόμενου προβλήματος

της σκόνης και ιδιαίτερα της εργοταξιακής σκόνης. Προτείνεται επίσης ο έλεγχος της σκόνης να ισχυροποιηθεί με την θέσπιση αναλόγων διαδικασιών στο πλαίσιο της υφιστάμενης νομοθεσίας. Η εστίαση του ενδιαφέροντος στο κλάσμα εκείνο της διαφεύγουσας σκόνης, το οποίο έχει ως προέλευση την εργοταξιακή δραστηριότητα, καθιστά ευκολότερο τον έλεγχο της κατάστασης, κυρίως μέσω της λήψης μέτρων άμεσης αποτελεσματικότητας. Τα μέτρα με τελικό στόχο τη μείωση της συγκέντρωσης της εισπνεύσιμης και αναπνεύσιμης σκόνης για να είναι αποτελεσματικά, πρέπει να συσχετίζονται με την κινητική συμπεριφορά της σκόνης, που περιλαμβάνει: το δυναμικό εκπομπής, την γένεση, την αιώρηση, τη μεταφορά, την απόθεση και την επαναιώρηση. Συμπερασματικά αναφέρουν ότι εάν στην πολιτική των κατασκευαστικών επιχειρήσεων και των ελεγκτικών μηχανισμών δεν εδραιωθεί ισχυρά η ανάγκη πραγματικής τήρησης των μέτρων ελέγχου σκόνης και δεν συνδεθεί η αντίστοιχη δραστηριότητα με κάποιο ορατό αποτέλεσμα δεν θα επιτευχθεί πραγματική αλλαγή στο κλάδο (Ειδική Επιστημονική Επιτροπή Περιβαλλοντικής Διαχείρισης Έργων Πολιτικού Μηχανικού Τ.Ε.Ε., Αθήνα, 2005).

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο τη μέτρηση και ανάλυση μετρήσεων των αερομεταφερόμενων στερεών σωματιδίων (σκόνη) σε συγκρότημα παραγωγής αδρανών υλικών που προέρχονται από υλικά αμμοχαλικοληψίας. Μέσω της κατάλληλης μοντελοποίησης των πηγών εκπομπής σκόνης και της συσχέτισης τους με τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής, επιχειρείται να εκτιμηθεί η σοβαρότητα του προβλήματος και να προταθούν μέτρα για την βελτίωση των εργασιακών συνθηκών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικοί ορισμοί και οι ταξινομήσεις των αερομεταφερόμενων στερεών σωματιδίων, οι πιθανές επιπτώσεις στους εργαζομένους και το περιβάλλον, οι πρακτικές ελέγχου και το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο.

Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με την συμπεριφορά των αιωρούμενων σωματιδίων. Αυτό είναι απαραίτητο για την κατανόηση των μηχανισμών μεταφοράς και διασκορπισμού της σκόνης στον περιβάλλοντα χώρο, γεγονός που θα συμβάλλει σημαντικά στη λήψη των κατάλληλων προληπτικών ή/και θεραπευτικών μέτρων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η εταιρεία που μελετάται, αναλύονται οι παραγωγικές της διεργασίες (εξοπλισμός, υποδομές, και λειτουργικά στοιχεία) και η φύση των επεξεργαζόμενων υλικών (γεωλογικούς σχηματισμοί από τους οποίους

προέρχονται και φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά). Επίσης αναλύεται η διαδικασία δειγματοληψίας, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε και γίνεται η επεξεργασία και ανάλυση των μετρήσεων που λήφθηκαν. Οι μετρήσεις συσχετίζονται με τα λειτουργικά στοιχεία της εγκατάστασης, εκτιμάται η συμβολή κάθε διαδικασίας στις εκπομπές σκόνης και συσχετίζονται με μετεωρολογικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η φορά, η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δειγματοληπτικών μετρήσεων και προτείνονται μέτρα αντιμετώπισης του προβλήματος για το συγκεκριμένο εργοτάξιο.

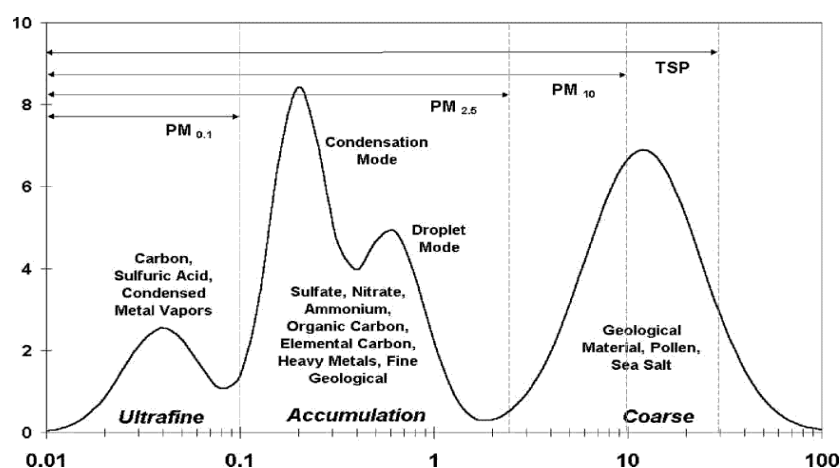
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Αιωρούμενα Σωματίδια

2.1 Εισαγωγή-Ορισμός

Η αναφορά που γίνεται σε αιωρούμενα σωματίδια συχνά συνδέεται άμεσα με τον όρο αιωρούμενη σκόνη, οι οποίες είναι δύο έννοιες παρεμφερείς. Σκόνη είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή λεπτών σωματιδίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα.

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO) και British Standard Institute (BSI, 1995), ως σκόνη ορίζονται τα στερεά σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 75 μm , τα οποία καθιζάνουν μεν στο περιβάλλοντα χώρο υπό το βάρος τους, αλλά μπορούν να αιωρούνται για κάποιο χρονικό διάστημα. Η μεταλλευτική σκόνη αποτελείται κυρίως από σωματίδια που προέρχονται από διαδικασίες εξόρυξης και θραύσης των ορυκτών (Petavratzi et al., 2005).

Το μέγεθος των σωματιδίων της σκόνης είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος αφού πολλές ιδιότητες της σκόνης εξαρτώνται από αυτό (Σχήμα 2.1). Το μέγεθος των σωματιδίων περιγράφεται συχνά από την αεροδυναμική διάμετρο του σωματιδίου. Η αεροδυναμική διάμετρος ενός σωματιδίου είναι αυτή που αντιστοιχεί σε σφαιρικό σωματίδιο μοναδιαίας πυκνότητας του οποίου η τελική ταχύτητα καθίζησης έχει την ίδια τιμή με αυτή της ταχύτητας του πραγματικού σωματιδίου (Allen, 1997).



Σχήμα 2.1: Κατηγορίες και μεγέθη των αιωρούμενων σωματιδίων. Στον κάθετο άξονα απεικονίζεται η σχετική συγκέντρωση μάζας ενώ ο οριζόντιος είναι η αεροδυναμική διάμετρος σωματιδίου (Central Pollution Control Board, Παπαγεωργίου 2012).

2.2 Πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων

Στους εργοταξιακούς χώρους η σκόνη μπορεί να δημιουργηθεί κατά την απόθεση στους χώρους αποθήκευσης, φόρτωσης, μεταφοράς και επεξεργασίας ορυκτών. Επηρεάζεται από τις ιδιότητες του υλικού όπως η σκληρότητα, η κατανομή μεγέθους σωματιδίων, η πυκνότητα των σωματιδίων, η υγρασία, καθώς επίσης και από τις παραμέτρους της διαδικασίας όπως ο μηχανισμός θραύσης-λειτουργίβησης, η ενέργεια που δαπανάται για την διαδικασία, ο ρυθμός τροφοδοσίας και η διάρκεια της (Liu et al., 1999; Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 1999).

Η σύνθεση των παραγόμενων σωματιδίων δεν είναι απαραίτητα η ίδια με εκείνη του μητρικού πετρώματος αφού μπορεί να διαφοροποιηθεί ανάλογα με την διαδικασία θραύσης-λειτουργίβησης (π.χ. εκλεκτική λειτουργίβηση) (Petavratzi et al., 2005). Ως εκπομπή σκόνης θεωρείται η διαδικασία κατά την οποία η σκόνη ανυψώνεται από την επιφάνεια για να αιωρηθεί στην ατμόσφαιρα. Αυτό απαιτεί μια ποσότητα ενέργειας για να ξεπεραστούν τόσο οι βαρυτικές όσο και οι δυνάμεις συνοχής που ασκούνται στα σωματίδια της σκόνης. Η ικανότητα των αιωρούμενων σωματιδίων για διασπορά προσδιορίζεται από την ικανότητα των σωματιδίων σκόνης να παραμείνουν στον αέρα. Αυτό μπορεί να επηρεάζεται τόσο από το βάρος των σωματιδίων και των δυνάμεων συνοχής μεταξύ των σωματιδίων, όσο και από τη ροή του αέρα (Liu et al., 1999).

Η εκπομπή σκόνης επηρεάζεται επίσης σε μεγάλο βαθμό από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Οι βροχοπτώσεις μειώνουν την διασπορά σκόνης λόγω της διαβροχής της επιφάνειας των υλικών, όσο και λόγω της αύξησης του ρυθμού με τον οποίο η αερομεταφερόμενη σκόνη απομακρύνεται από τον αέρα. Αντίθετα ο ξηρός αέρας μπορεί να αυξήσει το ρυθμό με τον οποίο η σκόνη ανυψώνεται από μια επιφάνεια και συμπαρασύρεται στον αέρα, οπότε έχουμε την εξάπλωση σκόνης σε γειτονικές περιοχές. Εκτός από τις εκπομπές σκόνης που οφείλονται στις καιρικές συνθήκες η ορυκτολογία του υλικού είναι μια επιπλέον παράμετρος που πρέπει να εξεταστεί, αφού διαφορετικοί τύποι ορυκτών προκαλούν διαφορετικές τιμές εκπομπών σκόνης (Petavratzi et al., 2005).

2.3 Ταξινόμηση Σκόνης

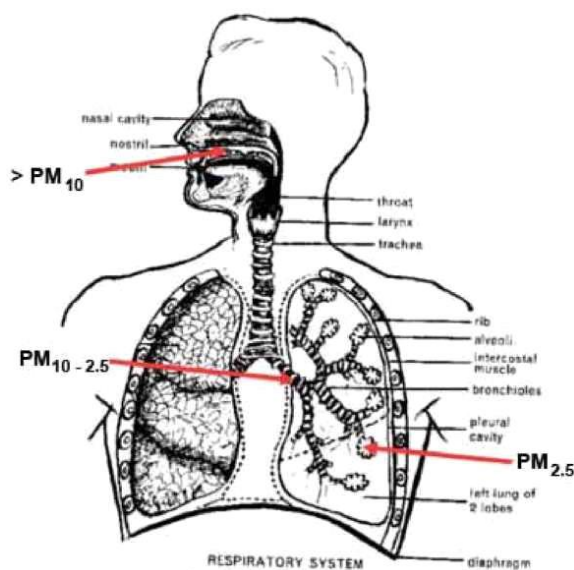
Η σκόνη μπορεί να ταξινομηθεί με βάση τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους σε δύο μεγάλες ομάδες: α) τους σωματιδιακούς ρύπους ή αερολύματα (σκόνες, καπνοί, νέφη) και β) τους αερόμορφους ρύπους (αέρια, ατμοί). Στην πρώτη περίπτωση εμπεριέχονται οι πνευμονοκονιογόνες σκόνες που σύμφωνα με τον ορισμό που επεξεργάστηκε ομάδα εργασίας του Διεθνούς Γραφείου Εργασίας στην 4^η Διεθνή Συνδιάσκεψη για τις Πνευμονοκονιώσεις στο Βουκουρέστι το 1971, αποτελούνται από «στερεά αιωρούμενα σωματίδια χωρίς ζωή» και ευθύνονται για την δημιουργία πνευμονοπαθειών που ονομάζονται πνευμονοκονιώσεις. Οι πνευμονοκονιογόνες σκόνες ανάλογα με την παθογένεση τους ταξινομούνται σε: αδρανείς ή μη ινογόνες σκόνες, που προκαλούν συνήθως καλοήθεις πνευμονοκονιώσεις. Τέτοιες είναι οι σκόνες του βαρίου, αντιμονίου, κασσίτερου κ.τ.λ., καθώς και οι ορυκτές σκόνες που περιέχουν κρυσταλλικό διοξείδιο του πυριτίου σε ποσότητα μικρότερη του 1%. Στην συνέχεια είναι οι ινογόνες ή σκληρογόνες σκόνες, που προκαλούν αντιδραστική ίνωση των πνευμόνων με ανάλογη κλινική συμπτωματολογία. Τέτοιες είναι οι ορυκτές σκόνες που περιέχουν διοξείδιο του πυριτίου σε ποσότητα μεγαλύτερη του 1% καθώς και οι ίνες αμιάντου (Γαλετάκης, 2010).

2.4 Βασικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων

2.4.1 Μέγεθος σωματιδίων

Το μέγεθος είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους που χαρακτηρίζει τις ιδιότητες και την συμπεριφορά των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Τα σύμβολα d , d_p ή D είναι αυτά που χρησιμοποιούνται συνήθως για την αεροδυναμική διάμετρο των σωματιδίων. Το μέγεθος του σωματιδίου εκφράζεται σε μικρόμετρα (μm) και σε νανόμετρα (nm) για σωματίδια μικρότερα από $0,1 \mu\text{m}$. (Ruzer and Harley, 2005). Τα αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος τους και με την επίδραση τους στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου (ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε 1999). Έτσι:

- στο ρινοφάρυγγα εναποτίθενται με κατακράτηση από το αναπνευστικό βλεννογόνο τα σωματίδια διαμέτρου > 15 μέχρι και $30\mu\text{m}$ καθώς και οι ίνες με διάμετρο $> 3\mu\text{m}$,
- στο τραχειοβρογχικό δένδρο εναποτίθενται με καθίζηση τα σωματίδια διαμέτρου > 5 μέχρι και $15\mu\text{m}$,
- στα κυψελιδικό-τριχοειδικά συμπλέγματα των πνευμόνων εναποτίθενται με καθίζηση και διάχυση τα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου $> 0,5$ μέχρι $5\mu\text{m}$, καθώς και οι ίνες διαμέτρου $< 3\mu\text{m}$. Αυτά ονομάζονται στην Βιομηχανική Υγιεινή «αναπνεύσιμο κλάσμα» γιατί επικάθονται στην περιοχή εναλλαγής αερίων και
- τα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο $< 0,5 \mu\text{m}$ φθάνουν στην περιοχή εναλλαγής αερίων αλλά δεν εναποτίθενται και αποβάλλονται με την εκπνοή (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2: Εναπόθεση αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα ανάλογα με το μέγεθος τους (Παπαγεωργίου, 2012).

2.4.2 Σχήμα σωματιδίου

Μια από τις φυσικές ιδιότητες των σωματιδίων της σκόνης που επηρεάζουν την συμπεριφορά της είναι το σχήμα τους. Τα σωματίδια που σχηματίζονται από διαδικασίες όπως η τριβή ή η κατάτμηση αποκτούν μορφή παραπλήσια με το μητρικό υλικό, ενώ αυτά που σχηματίζονται λόγω συμπύκνωσης ή πυρηνοποίησης έχουν σφαιρική μορφή ή σχεδόν σφαιρική μορφή (Ruzer and Harley, 2005).

2.4.3 Πυκνότητα σωματιδίου

Η πυκνότητα ενός σωματιδίου επιδρά σημαντικά στην κίνηση και την συμπεριφορά του κατά την παραμονή του στην ατμόσφαιρα. Η πυκνότητα των αιωρούμενων σωματιδίων κυμαίνεται συνήθως από 0,5 έως 6,0 g/cm³. Τα σωματίδια που σχηματίζονται από τριβή θεωρείται ότι έχουν την ίδια πυκνότητα με το μητρικό τους υλικό, ενώ διεργασίες όπως οξείδωση, ενυδάτωση και συσσώρευση μπορεί να τροποποιήσουν την πυκνότητα των σωματιδίων (Ruzer and Harley, 2005)

2.5 Επιπτώσεις Σκόνης

2.5.1 Γενικά

Η επίδραση της σκόνης στην ανθρώπινη υγεία είναι ένα μείζον ζήτημα για κάθε εξορυκτική δραστηριότητα. Οι αρνητικές επιπτώσεις της μπορεί επίσης να σχετίζονται και με το περιβάλλον. Τόσο το επίπεδο της εργασιακής ασφάλειας όσο και η παραγωγικότητα επηρεάζονται σημαντικά από την παρουσία σκόνης. Ορισμένα είδη σκόνης μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την ανθρώπινη υγεία. Για παράδειγμα τοξικές σκόνες μπορούν να προκαλέσουν χημικές αντιδράσεις με το αναπνευστικό σύστημα ή επιτρέπουν δημιουργία τοξικών ενώσεων που μπορεί να απορροφηθούν μέσω της επιδερμίδας και να εισχωρήσουν στην κυκλοφορία του αίματος. Παραδείγματα τέτοιων συστατικών που καθιστούν επικίνδυνη τη σκόνη είναι ο μόλυβδος, το αρσενικό, το ουράνιο και άλλα ραδιενεργά ορυκτά, όπως βολφράμιο, νικέλιο και άργυρος. Σκόνες που περιέχουν ουράνιο, αμίαντο, αρσενικό ή χαλαζιακή σκόνη μπορεί να προκαλέσουν καρκίνο. Πολλές άλλες σκόνες προκαλούν μικροσκοπικές ουλές των ιστών του πνεύμονα. Για μεγάλες χρονικές περιόδους αυτό μπορεί να προκαλέσει μία ινώδη ανάπτυξη του ιστού με αποτέλεσμα την απώλεια της ελαστικότητας των πνευμόνων και μείωση στην λειτουργικότητά τους. Για παράδειγμα ο αμίαντος, ο μαρμαρυγίας, ο τάλκης είναι μερικά από τα πιο

επικίνδυνα ορυκτά για την δημιουργία σκόνης που μπορεί να παράγουν τοξικές και καρκινογόνες αντιδράσεις (SIMRAC, 2003).

2.5.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Η σκόνη που καθιζάνει στο έδαφος μπορεί να επηρεάσει το οικοσύστημα και τις γεωργία της περιοχής. Οι επιδράσεις αυτές εξαρτώνται από την συγκέντρωση της σκόνης, την κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων, τη σύσταση τους και από την ταχύτητα εναπόθεσής τους. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τη σύσταση του εδάφους, την χλωρίδα και το μικροκλίμα (Petavratzi et al., 2005). Εκτός της βλάστησης, η εναπόθεση σκόνης μπορεί να επηρεάσει την πανίδα της περιοχής καθώς και τις δασικές εκτάσεις. Η σωματιδιακή ρύπανση συσχετίζεται επίσης με την όξινη βροχή. Η αύξηση των NO_3^- και SO_4^{2-} ιόντων (που προέρχονται από ορυκτά που τα εμπεριέχουν) στα αιωρούμενα σωματίδια έχουν συσχετιστεί με την όξινη βροχή, διότι μειώνουν το pH της βροχής, των νεφών και της ομίχλης. Έτσι, με την όξινη βροχή τα νερά των λιμνών και των ποταμών γίνονται πιο όξινα και αλλάζει η χημική ισορροπία σε αυτά και στο έδαφος, γεγονός που επιφέρει αλλαγές στην βιοποικιλότητα του οικοσυστήματος (Balkau, 1993).

2.5.3 Επιδράσεις της σκόνης στην ανθρώπινη υγεία

Η έκθεση σε οποιαδήποτε σκόνη σε υπερβολικές ποσότητες μπορεί να δημιουργήσει αναπνευστικά προβλήματα. Διαφορετικές σκόνες μπορούν να επηρεάσουν το σώμα με διάφορους τρόπους και μπορεί να προκαλέσουν επιβλαβή αποτελέσματα μέσω επαφής με το δέρμα ή τα μάτια και την κατάποση, καθώς και με εισπνοή, ανάλογα με τις επιμέρους φυσικές και χημικές ιδιότητες της σκόνης. Η σκόνη που προέρχεται από εξορυκτικές δραστηριότητες μπορεί να προκαλέσει πολλές ασθένειες (Trade Union Congress, 2001 Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, 1999) όπως:

- Βλάβη των πνευμόνων, όπως η πνευμονοκονίαση και ειδικότερα πυριτίαση, αμιάντωση καθώς και καρκίνο.
- Βλάβη στη μύτη, το λαιμό και τα μάτια.
- Βλάβη στο δέρμα: Μπορεί να προκαλέσει διάφορα είδη δερματίτιδας, η οποία είναι μια ευρέως διαδεδομένη και συχνά σοβαρό πρόβλημα ή ακόμη και καρκίνο του δέρματος (π.χ. σκόνη τσιμέντου).
- Συστηματική δηλητηρίαση του δέρματος λόγω απορρόφησης: αυτό

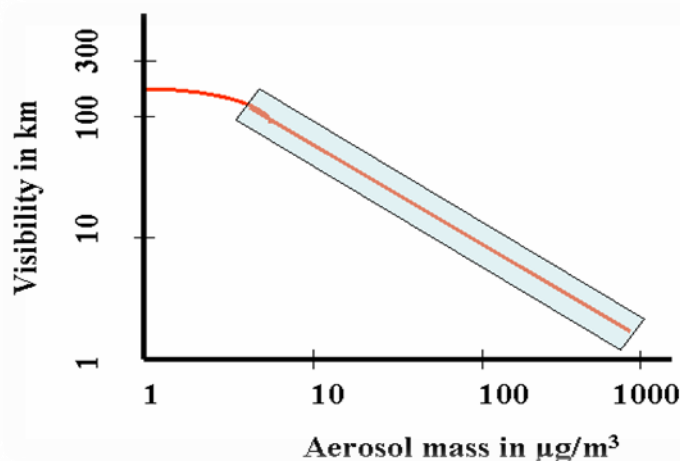
μπορεί να συμβεί αν υδατοδιαλυτά υλικά διαλύονται στον ιδρώτα και περνάνε μέσω του δέρματος στην κυκλοφορία του αίματος, (π.χ. μολύβδου).

- Ερεθισμός του γαστρεντερικού σωλήνα μέσω της κατάποσης: αυτό επιτείνεται όταν εργαζόμενοι πίνουν ή καπνίζουν σε επιβαρυμένο από σκόνη χώρο εργασίας.
- Ισχαιμικές καρδιακές παθήσεις.
- Ερεθισμός και φλεγμονές των πνευμόνων. Ορισμένες σκόνες μπορεί να προκαλέσουν χρόνια βρογχίτιδα, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε χρόνια εμφύσημα (π.χ. ενώσεις χρωμίου και μαγγανίου).
- Αλλεργικές αντιδράσεις όπως άσθμα ή στο δέρμα, όπως εξανθήματα (π.χ. κοβάλτιο, ο λευκόχρυσος, το χρώμιο, το νικέλιο κλπ.).

2.5.4 Επιπτώσεις στην ασφάλεια και στην παραγωγικότητα

Η σκόνη μπορεί να επηρεάσει την ασφάλεια στην εργασία, αφού οδηγεί στην μείωση της ορατότητας στο χώρο εργασίας καθιστώντας τον ανασφαλή ενώ ταυτόχρονα επιδρά αρνητικά και στην παραγωγικότητα (SIMRAC, 2003) (Σχήμα 2.3). Επιπλέον ορισμένες σκόνες, όπως για παράδειγμα σκόνες από άνθρακα και θειούχες ενώσεις, μπορεί να προκαλέσουν φαινόμενα αυτανάφλεξης (Trade Union Congress, 2001). Η ικανότητα της σκόνης για αυτανάφλεξη εξαρτάται από πέντε κύριες παραμέτρους: η παρουσία της εύφλεκτης σκόνης σε λεπτότατη διαμερισμένη μορφή, η διαθεσιμότητα του οξειδωτικού και η παρουσία πηγής ανάφλεξης (Liu και Κατσαμπάνης, 1992, Soundararajan et al., 1996).

Η χημική σύνθεση της σκόνης, το μέγεθος του σωματιδίου, το σχήμα, η ειδική επιφάνεια και η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι επίσης ορισμένες μεταβλητές που έχουν βασικό ρόλο στην δημιουργία αλλά και στην εξάπλωση της στο χώρο. Η σκόνη μπορεί επίσης να μειώσει την παραγωγικότητα αφού επικάθεται στα μηχανήματα μειώνοντας το χρόνο ζωής του εξοπλισμού και αυξάνοντας το κόστος συντήρησης του. Μπορεί επίσης να υποβαθμίσει την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων (Petavratzi et al., 2005).



Σχήμα 2.3: Απεικόνιση στη μεταβολής της ορατότητας σε σχέση με τη συγκέντρωση της σκόνης ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Παπαγεωργίου, 2012)

2.6. Νομοθετικό Πλαίσιο

Η νομοθεσία η οποία ισχύει για τα θέματα της σκόνης και των εκπομπών της από τα ορυχεία σε διεθνές επίπεδο παρατίθεται παρακάτω. Γενικά πρότυπα ποιότητας του αέρα και της νομοθεσίας που ισχύει για κάθε κλάδο ισχύουν και για την εξορυκτική βιομηχανία. Οι δείκτες όπως PM_{10} (σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από ή ίση των $10 \mu\text{m}$) και $\text{PM}_{2.5}$ (σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη από ή ίση των $2.5 \mu\text{m}$) χρησιμοποιούνται συνήθως για τον προσδιορισμό των ορίων από τα πρότυπα (US EPA, 1997).

Στην Ευρώπη, για παράδειγμα, και σε σχέση με την τρέχουσα περιβαλλοντική νομοθεσία της ΕΕ, οι οποία εμπεριέχει τις επιπτώσεις της εξορυκτικής βιομηχανίας για τα απόβλητα, το νερό, την ποιότητα του αέρα και τη διατήρηση της φύσης (Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2000), η πρόληψη και ο έλεγχος της ρύπανσης είναι πολύ σημαντικά, δεδομένου ότι έχουν ως στόχο την πρόληψη ή τον περιορισμό της ρύπανσης μέσω της χρήσης των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών (BAT) (Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2000). Τα πρότυπα, τα οποία αναφέρονται στην ποιότητα του αέρα, συνοψίζονται παρακάτω:

- Άρ.317, καθαρός αέρας, τα πρότυπα ποιότητας του αέρα Κανονισμοί του 1989.
- Άρ.3043, την προστασία του περιβάλλοντος, οι κανονισμοί ποιότητας του αέρα του 1997. Για τη διασφάλιση της ποιότητας του αέρα, η Ευρωπαϊκή Ένωση καθορίζει τις οριακές τιμές-στόχους σε πολλές ουσίες, οι οποίες περιλαμβάνουν αιωρούμενα σωματίδια. Αυτές οι οριακές τιμές ισχύουν για όλα τα σημερινά κράτη μέλη και εφαρμόζονται για τις εξορυκτικές βιομηχανίες (Δίκαιο της Ευρωπαϊκής

Ένωσης, 1999).

Στην Ελλάδα ισχύει ο Κανονισμός Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ). Συγκεκριμένα για την προστασία των εργαζομένων από χημικούς βλαπτικούς παράγοντες γίνεται αναφορά στο Άρθρο 22: «Προστασία των εργαζομένων από αιωρούμενες σκόνες, αέρια, ατμούς, καπνούς και λοιπούς χημικούς παράγοντες». Αναφέρονται συνοπτικά οι κίνδυνοι και οι οριακές τιμές έκθεσης των εργαζομένων σε σκόνες, σε μέτρα πρόληψης και προστασίας που πρέπει να λάβει η εκάστοτε εταιρεία που τα υπερβαίνει. Τα παραπάνω βρίσκονται στον Πίνακα 1 της παραγράφου 1 του Άρθρου 22, στην παράγραφο 2.4,5,7 (ΚΜΛΕ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ατμοσφαιρική συμπεριφορά και διάχυση των αιωρούμενων σωματιδίων.

3.1 Συμπεριφορά των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα

Η συμπεριφορά της σκόνης είναι αρκετά περίπλοκη, καθώς αποτελείται από διάφορα φαινόμενα που ενεργούν στα σωματίδια σκόνης. Για να γίνει ένα σωματίδιο αερομεταφερόμενο πρέπει να έχει μία αεροδυναμική οπισθέλκουσα δύναμη μεγαλύτερη από το άθροισμα του βάρους των σωματιδίων και των εσωτερικών δυνάμεων που ασκούνται (Liu et al., 1999).

Μικρότερα σωματίδια θα συμπεριφέρονται σαν ένα αέριο και θα επηρεάζονται από μοριακές δυνάμεις, ενώ τα μεγαλύτερα σωματίδια θα επηρεαστούν από δυνάμεις βαρύτητας και αδρανειακές δυνάμεις (SIMRAC, 2003). Το μέγεθος των σωματιδίων, το σχήμα, η χημική σύσταση, η συγκέντρωση και η πυκνότητα είναι σημαντικές παράμετροι για τον χαρακτηρισμό της συμπεριφοράς της σκόνης. Η χημική σύσταση, το σχήμα και η συγκέντρωση της σκόνης θεωρούνται κρίσιμες ιδιότητες από πλευράς υγείας και ασφάλειας του (SIMRAC, 2003). Συγκέντρωση σκόνης ορίζεται ως η μάζα των σωματιδίων σε μια μονάδα όγκου του αέρα και δίνεται σε χιλιοστόγραμμα ανά κυβικό μέτρο (mg/m^3). Οι κύριες δυνάμεις που επηρεάζουν την συμπεριφορά των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η βαρυτική, η κίνηση Brown, η τυρβώδης διάχυση και η συσσώρευση. Άλλοι μηχανισμοί, όπως ενσφήνωση, εκ νέου παράσυρση και απόθεση, είναι επίσης σημαντικοί. Οι βαρυτικές δυνάμεις που εφαρμόζονται στα σωματίδια σκόνης τα αναγκάζουν να καθιζήσουν υπό το βάρος τους.

Συχνά αιωρούμενα σωματίδια σκόνης ακολουθούν ακανόνιστες διαδρομές στον αέρα, το οποίο προκαλείται από τυχαίες διακυμάνσεις στον αδιάκοπο βομβαρδισμό των μορίων αερίου έναντι του σωματιδίου (Hinds, 1999). Η συμπεριφορά αυτή, που ονομάζεται κίνηση Brown είναι σημαντική για πολύ μικρά σωματίδια ($<0,6 \mu\text{m}$), όπου η βαρυτική δύναμη μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα (SIMRAC, 2003). Με τον όρο eddy διάχυση εννοούμε την διαδικασία κατά την οποία οι εκπεμπόμενοι ρύποι διασκορπίζονται υπό την επίδραση των τυρβωδών στροβίλων (Μελάς, 2007). Η εναπόθεση σκόνης εξαρτάται επίσης από τις κυριαρχούσες καιρικές συνθήκες, καθώς και το μέγεθος των σωματιδίων. Όταν

αυξηθεί η ταχύτητα του ανέμου, ο άνεμος μπορεί να μεταφέρει αιωρούμενα σωματίδια σε μια πιο ευρεία περιοχή, τα μικρότερα σωματίδια, έχουν μεγαλύτερο βαθμό διασποράς και μικρή ταχύτητα καθίζησης, ενώ τα μεγάλα σωματίδια σκόνης ($> 30\mu\text{m}$) θα καθιζάνουν πιο γρήγορα. Σωματίδια πάνω από $30\mu\text{m}$ αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό της σκόνης που εκπέμπεται από επεξεργασία ορυκτών και διαχέονται σε απόσταση έως 100m από την πηγή. Ενδιάμεσα μεγέθους σωματιδίων ($10\text{-}30\ \mu\text{m}$) είναι πιθανό να φτάσουν μέχρι $200\text{-}500\ \text{m}$. Τα μικρότερα σωματίδια (λιγότερο από $10\mu\text{m}$) αντιπροσωπεύουν ένα μικρό ποσοστό σκόνης που εκπέμπεται από τις περισσότερες εργασίες επεξεργασίας ορυκτών υλών διασπείρονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις και εναποτίθενται αργά (Petavratzi et al., 2005).

3.2 Φαινόμενο Διάχυσης

Η διάχυση ενός αιωρούμενου σωματιδίου είναι η μεταφορά του λόγω διαφοράς συγκέντρωσης από περιοχή σε περιοχή. Αυτή η μεταφορά γίνεται πάντοτε από την περιοχή με τις υψηλές συγκεντρώσεις προς την περιοχή με τις χαμηλές συγκεντρώσεις (Hinds ,1999; Friedlander, 2000). Η διάχυση αποτελεί τον μηχανισμό στον οποίο βασίζεται ο διαχωρισμός και η συλλογή σωματιδίων μικρότερων από $0.3\ \mu\text{m}$. Στα σωματίδια αυτών των διαμέτρων, οι μηχανισμοί καθίζησης λόγω βαρύτητας ή πρόσκρουσης είναι αμελητέα. Τα λεπτόκοκκα σωματίδια, συγκριτικά με τα χονδρόκοκκα, επηρεάζονται περισσότερο από τις συγκρούσεις με τα μόρια των αερίων και για τον λόγο αυτό εμφανίζουν μεγάλες ταχύτητες διάχυσης (Κουϊμτζή κ.α., 1998).

Το φαινόμενο της διάχυσης χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή διάχυσης των σωματιδίων D . Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής διάχυσης, τόσο πιο έντονη είναι η κίνηση Brown και γρηγορότερη η μεταφορά μάζας από περιοχές μικρότερης συγκέντρωσης σε περιοχές μεγαλύτερης συγκέντρωσης. Ο συντελεστής διάχυσης είναι μια σταθερά που συνδέει τη ροή J των αιωρούμενων σωματιδίων με την συγκέντρωση dc/dx . Αυτή η σχέση είναι ο πρώτος νόμος του Fick για τη διάχυση. Η εξίσωση (3.1) αναπαριστά το νόμο του Fick όταν δεν υπάρχουν εξωτερικές δυνάμεις (Hinds, 1999).

$$J = -D \cdot \frac{dc}{dx} \quad (3.1)$$

Ο συντελεστής διάχυσης ενός σωματιδίου μπορεί να εκφραστεί από μια σειρά συναρτήσεων βασισμένες στις ιδιότητες των σωματιδίων. Στη συνάρτηση των Stokes-Einstein η διάχυση του σωματιδίου εξομοιώνεται με τη δύναμη που ασκείται από το αέριο το οποίο αντιστέκεται στη κίνηση των σωματιδίων. Η δύναμη αυτή υπολογίζεται από την εξίσωση (3.2).

$$F_{diff} = \frac{3 \cdot \pi \cdot \eta \cdot V \cdot d}{C_c} \quad (3.2)$$

Όπου:

η : ο αριθμός σωματιδίων ανά μονάδα όγκου

V : η καθαρή ταχύτητα της κίνησης του σωματιδίου που προέρχεται από τη διάχυση

D : η διάμετρος του σωματιδίου

C_c : ο συντελεστής διόρθωσης κατά Cunningham, (Hinds,1999; Friedlander , 2000).

3.3 Ατμοσφαιρική συμπεριφορά σκόνης

Οι κατακόρυφες κινήσεις του αέρα επηρεάζουν την ανάμειξη των ρύπων. Ιδιαίτερα οι ακανόνιστες ανοδικές - καθοδικές κινήσεις που επικρατούν στο στρώμα ανάμειξης μπορούν να μεταφέρουν και να αναμείξουν τους ρύπους γρήγορα και αποτελεσματικά. Η κατακόρυφη ανάμειξη των ρύπων έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της μέσης συγκέντρωσής τους. Κατακόρυφες κινήσεις στην ατμόσφαιρα μπορεί να προκληθούν από πολλές αιτίες. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί ο αέρας που αναγκάζεται να ανέλθει όταν συναντά κάποια απότομη μεταβολή του αναγλύφου καθώς και τις ανοδικές - καθοδικές κινήσεις οι οποίες αναπτύσσονται σε συνδυασμό με βαρομετρικά χαμηλά και υψηλά.

Όταν η ατμόσφαιρα τείνει να καταστείλει αυτές τις κινήσεις λέμε ότι επικρατεί ευστάθεια ενώ όταν αυτές οι κινήσεις ενισχύονται λέμε ότι η ατμόσφαιρα βρίσκεται σε κατάσταση αστάθειας. Προκειμένου να προσδιορίσουμε την ευστάθεια της ατμόσφαιρας μελετάμε την μεταβολή της θερμοκρασίας με το ύψος. Όταν ο θερμός αέρας επικαλύπτει τον ψυχρό τότε επικρατούν συνθήκες ευστάθειας. Ο ανερχόμενος ψυχρός αέρας θα βρεθεί σε ένα θερμότερο περιβάλλον και λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας θα αναγκασθεί να επιστρέψει στην αρχική του θέση. Αντίστοιχα, αν ο θερμότερος αέρας αναγκασθεί να κατέλθει θα βρεθεί σε ψυχρότερο περιβάλλον και, λόγω άνωσης, θα επανέλθει στην αρχική του θέση.

Χρησιμοποιώντας αντίστοιχα επιχειρήματα μπορούμε να αποδείξουμε ότι όταν η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται με το ύψος τότε επικρατούν συνθήκες αστάθειας και οι κατακόρυφες κινήσεις του αέρα ενισχύονται. (Μελάς, κ.α. 2000).

Η αναστροφή είναι μια ακραία μορφή ευστάθειας κατά την οποία ο θερμός αέρας επικαλύπτει τον ψυχρό. Η αναστροφή στην χαμηλότερη ατμόσφαιρα ενεργεί σαν εμπόδιο για τις κατακόρυφες κινήσεις. Η ατμοσφαιρική ευστάθεια μεταβάλλεται τόσο γεωγραφικά όσο και χρονικά. Την νύχτα αναπτύσσεται συνήθως μια αναστροφή η οποία διαρκεί μέχρι τις πρωινές ώρες. Η αναστροφή εμποδίζει την κατακόρυφη μεταφορά των ρύπων οι οποίοι εξαπλώνονται κατά κύριο λόγο οριζόντια. Το σχήμα που δημιουργείται κατά την διασπορά της σκόνης από την πηγή εκπομπής θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως βεντάλια, παρατηρώντας πανοραμικά μια πηγή εκπομπής. Η περιορισμένη κατακόρυφη μεταφορά των σωματιδίων έχει σαν αποτέλεσμα, οι συγκεντρώσεις τους κοντά στην επιφάνεια, να είναι πολύ χαμηλές. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στην περίπτωση που οι εκπομπές των ρύπων λάμβαναν χώρα κοντά στο έδαφος, η αναστροφή θα οδηγούσε σε υψηλές συγκεντρώσεις. Τις πρωινές ώρες η ηλιακή ακτινοβολία αρχίζει να θερμαίνει το έδαφος και καταστρέφει σταδιακά τη νυχτερινή αναστροφή. Η αστάθεια που αναπτύσσεται κοντά στο έδαφος ευνοεί τις ανοδικές και καθοδικές κινήσεις οι οποίες όμως φθάνουν μόνο μέχρι την βάση της ανυψωμένης αναστροφής (Πετάβρατζη, 2005).

3.3.1 Η επίδραση του ανέμου στα επίπεδα ρύπανσης

Η επίδραση του ανέμου στην διασπορά των σωματιδίων είναι διπλή. Η διεύθυνση του ανέμου καθορίζει την περιοχή προς την οποία θα κατευθυνθούν τα σωματίδια ενώ η ταχύτητα του ανέμου προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό τον ρυθμό αραίωσης τους. Η διεύθυνση του ανέμου είναι καθοριστικής σημασίας ιδιαίτερα στην περίπτωση που τα σωματίδια προέρχονται από σημειακές πηγές. Σε αυτή την περίπτωση τα επίπεδα συγκέντρωσης σε κάποια συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να αλλάξουν δραστικά ακόμη και σε περίπτωση που η διεύθυνση του ανέμου μεταβληθεί μόνο 10°. Σε αυτά τα πλαίσια η μεταβλητότητα της διεύθυνσης του ανέμου έχει ευεργετικές συνέπειες γιατί διασκορπίζονται σε μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή με αποτέλεσμα οι τοπικές συγκεντρώσεις να είναι χαμηλότερες. Από την άλλη πλευρά η ταχύτητα του ανέμου προσδιορίζει το πόσο

γρήγορα θα απομακρυνθούν τα σωματίδια από το σημείο εκπομπής (Μελάς, 2007).

3.3.2 Εκτίμηση της εκλυόμενης σκόνης

Ο πιο διαδεδομένος συντελεστής εκτίμησης, εκλυόμενης σκόνης στην ατμόσφαιρα από ορισμένες ανθρώπινες δραστηριότητες θεωρείται ο AP-42 (EPA). Ο συντελεστής εκπομπών είναι μια αντιπροσωπευτική τιμή η οποία προσπαθεί να συνδέσει την ποσότητα ενός ρύπου που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα με τη δραστηριότητα που συνδέεται με την εκπομπή αυτού του ρύπου. Η γενική εξίσωση για την εκτίμηση των εκπομπών είναι η ακόλουθη:

$$E = A \cdot EF \quad (3.3)$$

όπου

E : εκπομπές σωματιδίων (kg/day)

A : ένταση δραστηριότητας (t/day)

EF: συντελεστής εκπομπών σκόνης (kg/t)

Για κάθε συντελεστή εκπομπής AP-42 δίνεται μια αξιολόγηση με γράμματα από A έως E, με το A να είναι το μικρότερο επιθυμητό αποτέλεσμα. (Appleton et al., 2007).

3.4 Χρόνος ζωής των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα

Από την στιγμή που τα σωματίδια βρεθούν στην ατμόσφαιρα ή έχουν σχηματιστεί σε αυτήν, απομακρύνονται από αυτήν μέσω διαφόρων διεργασιών, οι οποίες καθορίζουν τον ατμοσφαιρικό χρόνο ζωής τους. Τα χονδρόκοκκα σωματίδια απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα μέσω της ιζηματοπόθεσης και της κατακρήμνισης, ενώ υπολογίζεται ότι οι χρόνοι παραμονής των σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη των 20 μm είναι μερικές ώρες και των σωματιδίων με διάμετρο 2-3 μm κυμαίνονται από 2 μέχρι 4 μέρες. Τα σωματίδια που η διάμετρος τους κυμαίνεται μεταξύ 0,1-1 μm παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους χρόνους παραμονής στην ατμόσφαιρα και μπορούν να μετακινηθούν σε μεγάλες αποστάσεις. Σε αυτήν την κατηγορία βρίσκονται τα πρωτογενή σωματίδια που εκπέμπονται από την διεργασία της καύσης αλλά και τα δευτερογενή σωματίδια. Ο χρόνος ζωής ενός σωματιδίου στον αέρα καθορίζει σε ποίο βαθμό θα μεταβληθούν οι ιδιότητες τους και αντιστρόφως οι ιδιότητες του καθορίζουν τον χρόνο παραμονής του στην

ατμόσφαιρα. Επιπροσθέτως η χημική σύσταση ενός σωματιδίου αλλάζει όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή και εξαρτάται από την φύση των διαφόρων άλλων ρύπων που βρίσκονται στον αέρα (Department of Environmental Protection, EU, 1999).

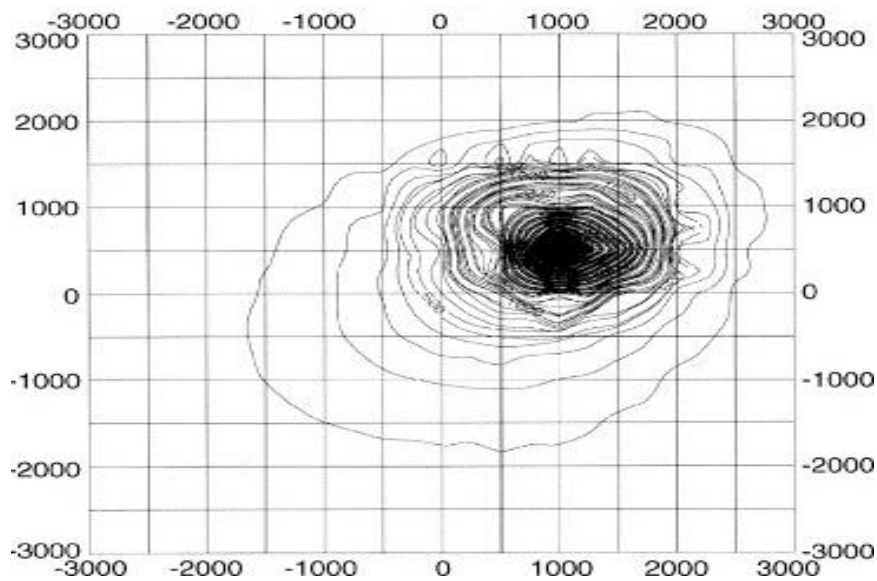
Από την άλλη μεριά, ο χρόνος ζωής αρκετών ρύπων εξαρτώνται και από τις θερμοδυναμικές τους ιδιότητες. Έτσι, η κατανομή της μάζας μεταξύ της αέριας και της σωματιδιακής φάσης σε μερικές χημικές ενώσεις υφίσταται μεγάλες διακυμάνσεις που δημιουργούνται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στον ατμοσφαιρικό αέρα. Αυτή είναι πολύ σημαντική παράμετρος για ενώσεις όπως είναι το νιτρικό αμμώνιο και μερικά οργανικά αερολύματα (Adams et al., 1999).

3.5 Χρήση μοντέλων διασποράς της σκόνης

Η μοντελοποίηση της διασποράς χρησιμοποιείται ευρέως από τις εργασίες εξόρυξης ως μέσο για τον εντοπισμό των πηγών σκόνης και να κατανοήσουν τη συμπεριφορά των μεταλλευτικών σωματιδίων. Μοντελοποίηση της διασποράς της σκόνης είναι μια διαδικασία όπου ένα φυσικό σύστημα αντιπροσωπεύεται από μία σειρά μαθηματικών μοντέλων σε ένα πρόγραμμα υπολογιστή. Υπάρχουν μοντέλα που επιτρέπουν την ένταξη σημειακών και μη σημειακών πηγών σκόνης. Με την βοήθεια αυτών των πηγών και την συνεισφορά διαθέσιμων αλγόριθμων επιτρέπεται η εκτίμηση της συγκέντρωσης της σκόνης. Σε συνδυασμό με τα τοπικά μετεωρολογικά δεδομένα, τα μοντέλα δημιουργούν μια εικόνα του ρυθμού απόθεσης σκόνης πάνω από την περιοχή γύρω από το εργοτάξιο ή ορυχείο (Πετάβρατζη, 2005).

Το μοντέλο που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να αντιπροσωπεύει όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά τις φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην δημιουργία της σκόνης, στη μεταφορά της σκόνης από τον άνεμο, την απόθεση της λόγω βαρυτικής καθίζησης και άλλες διεργασίες εναπόθεσης και παγίδευσης της σκόνης. Μοντελοποίηση μέσω υπολογιστών βασίζεται στη χρήση τυποποιημένων μοντέλων διασποράς όπως του Gauss. Παράγοντες όπως οι βροχοπτώσεις, η θερμοκρασία και οι άνεμοι μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στα επίπεδα της σκόνης που παράγεται από ένα συγκεκριμένο ορυχείο. Έχει παρατηρηθεί ότι παρόμοια εργοτάξια σε διαφορετικές κλιματικές συνθήκες μπορεί να δημιουργήσουν

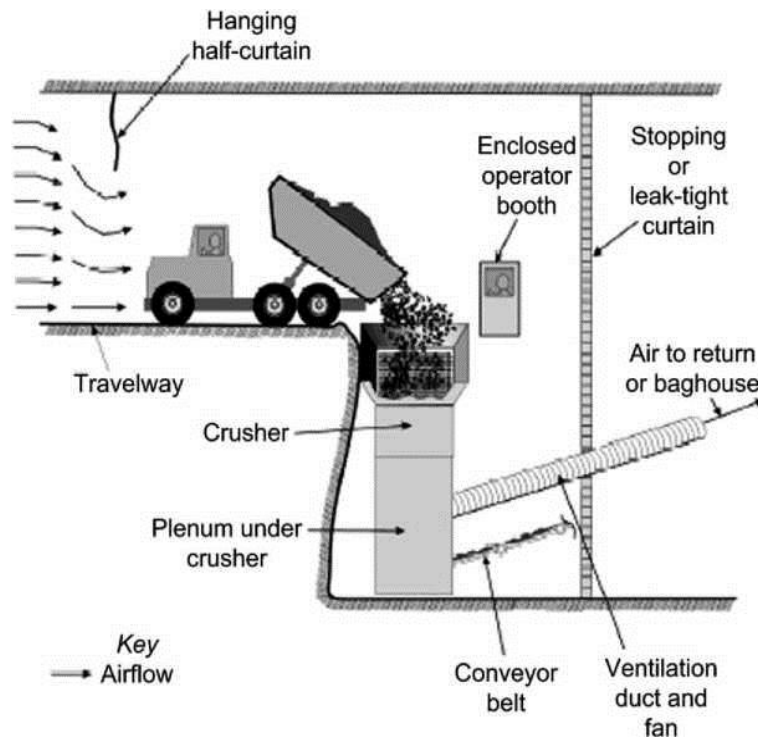
εντελώς διαφορετικά δεδομένα διασποράς της σκόνης. Τα αποτελέσματα από διάφορες μελέτες δείχνουν ότι η χρήση μοντέλων διασποράς μπορεί να προσφέρει αρκετά ακριβείς προβλέψεις του μέσου ετήσιου ρυθμού απόθεσης αν είναι σωστά τα δεδομένα των εκπομπών που χρησιμοποιούνται και τα κατάλληλα μετεωρολογικά δεδομένα που παρέχονται. Μια άλλη αναπτυσσόμενη περιοχή των μοντέλων που χρησιμοποιούνται σήμερα για την αξιολόγηση των εκπομπών σκόνης και του ελέγχου είναι η χρήση της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) (Πετάβρατζη, 2005). Η μοντελοποίηση δεν μπορεί να αντικαταστήσει την πειραματική εργασία, αλλά αν χρησιμοποιηθεί σωστά μπορεί να δείξει τις τάσεις και να βοηθήσει να αποκτήσουν καλύτερη κατανόηση των διαδικασιών που εμπλέκονται στη δημιουργία σκόνης. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως ένα γρήγορο, αποτελεσματικό και απλό μέσο για πειραματισμούς και δοκιμές, χωρίς να επηρεάζει καμία από τις εξορυκτικές δραστηριότητες (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Τυπική εικόνα που δείχνει τη χωρική κατανομή της συγκέντρωσης της σκόνης με τη χρήση ενός μοντέλου διασποράς (Sabah, 2006).

3.6 Πρόληψη και έλεγχος της σκόνης σε μεταλλεία - λατομεία

Η παραγωγή σκόνης επιβάλλει την ανάπτυξη μέτρων ελέγχου για την αντιμετώπιση του προβλήματος της σκόνης και για την προστασία της υγείας των εργαζομένων. Υπάρχουν αρκετές τεχνικές μείωσης σκόνης που επιλέγονται ανάλογα με τα επίπεδα κόστους και την αποτελεσματικότητα που επιθυμείται (Goldbeck and Marti, 1996). Ανάλογα με τις συνθήκες κάθε λατομείου μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές όπως, κονιοσυλλέκτες τύπου κυκλώνα, ηλεκτροστατικά φίλτρα, σακόφιλτρα κ.α. Στο Σχήμα 3.2 δίνεται σχηματικά μια κλειστή εγκατάσταση που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της παραγόμενης σκόνης κατά την εκφόρτωση υλικών από χωματουργικά αυτοκίνητα σε θραυστήρα (Kissel, 2003).



Σχήμα 3.2: Διάταξη για τον έλεγχο της παραγόμενης σκόνης κατά την εκφόρτωση υλικών από χωματουργικά αυτοκίνητα σε θραυστήρα (Kissel, 2003).

3.6.1 Η χρήση νερού για καταστολή της σκόνης

Η πλέον συχνή μέθοδος καταστολής της σκόνης είναι η χρήση ψεκασμού με νερό ή με νερό που περιέχει ειδικά χημικά πρόσθετα ή η χρήση αφρού . Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών τέτοιων συστημάτων που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό. Η καταστολή επιτυγχάνεται με την προσθήκη υγρασίας στο υλικό και έτσι αυξάνεται το βάρος και η συνοχή του. Η πλειοψηφία της σκόνης που παράγεται κατά τη διάρκεια της θραύσεως παραμένει προσκολλημένη στην επιφάνεια του σπασμένου υλικού (Eslinger, 1997). Μειονεκτήματα που παρουσιάζονται με την χρήση νερού είναι η ολίσθηση των ιμάντων των μηχανημάτων από την περίσσεια νερού με αποτέλεσμα να μειώνουν την αποτελεσματικότητα των συστημάτων καθαρισμού. Επίσης, η προσθήκη αρκετής ποσότητας νερού μπορεί να αυξήσει την περιεκτικότητα σε υγρασία και έτσι υποβαθμίζει τις ιδιότητες του υλικού, (Herrmann και Evensen, 1994), επειδή δημιουργείται λάσπη προσκολλημένη σε αυτό

Οι καιρικές συνθήκες μπορεί να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία ψεκασμού νερού (δηλαδή κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ο ψεκασμός πρέπει να είναι πιο συχνός), ενώ οι υψηλές ταχύτητες ανέμου μπορεί να κάνουν τη μέθοδο καταστολής της σκόνης με ψεκασμό νερού αδύνατη. Η χρήση των χημικών προσθέτων και συνδετικών παραγόντων σκόνης μπορεί να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας καταστολής (Gibor, 1997; Herrmann και Evensen, 1994). Μειονεκτήματα της χρήσης χημικών πρόσθετων είναι το κόστος και η μεταβολή της σύστασης του υλικού. Τα συστήματα καταστολής με εκνέφωση νερού είναι μια βελτιωμένη έκδοση των συστημάτων ψεκασμού με νερό (Goldbeck και Marti, 1996). Παράγουν μια εξαιρετικά λεπτή ομίχλη που συσσωματώνει τα πολύ λεπτά σωματίδια. Βασίζεται στην αρχή ότι τα σταγονίδια έχουν παρόμοιο μέγεθος όπως τα σωματίδια σκόνης και κατά συνέπεια η διαβροχή είναι πιο αποτελεσματική (Gibor, 1997).

3.6.2 Πρόληψη και Ενημέρωση προσωπικού

Η επαρκής εκπαίδευση θα επιτρέψει στους εργαζόμενους να εκτελούν τα καθήκοντα τους με ασφάλεια και αν εφαρμοστεί σωστά θα μπορούσε να αποδειχθεί και ένα από τα βασικά στοιχεία των στρατηγικών πρόληψης (World Health Organization, 1999). Καλή καθαριότητα, ορθές πρακτικές εργασίας και η προσεκτική υγιεινή πρέπει να είναι ο στόχος κάθε στρατηγικής για την υγεία και την

ασφάλεια. Ο προσωπικός προστατευτικός εξοπλισμός πρέπει να χρησιμοποιείται όταν όλες οι δυνατότητες ελέγχου έχουν διερευνηθεί αλλά δεν παρέχουν επαρκή προστασία. Τα μέσα ατομικής προστασίας (ΜΑΠ) περιλαμβάνουν αναπνευστικό προστατευτικό εξοπλισμό, προστατευτικά ενδύματα και άλλα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στους χώρους εργασίας. Κατά την εξέταση ατομικής προστασίας, τα χαρακτηριστικά της σκόνης πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η χρήση του ατομικού προστατευτικού εξοπλισμού απαιτεί την ευαισθητοποίηση και εκπαίδευση του κινδύνου από την πλευρά του χρήστη. Η συντήρηση ή/και αντικατάσταση των μέσων ατομικής προστασίας πρέπει γίνεται σύμφωνα με τα οριζόμενα από τους κατασκευαστές τους έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή προστασία (Πετάβρατζη, 2005).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Μετρήσεις σκόνης στο εργοτάξιο και επεξεργασία των στοιχείων

4.1 Στρατηγική διαδικασίας μετρήσεων

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται πριν από την επιλογή της στρατηγικής μέτρησης της σκόνης. Μερικοί από τους πιο σημαντικούς είναι η περίοδος δειγματοληψίας των μετρήσεων, η διάρκειά της, η θέση της και τέλος ο χειρισμός και η ανάλυση των δεδομένων. Στην στρατηγική μέτρησης που καταστρώθηκε για τη συγκεκριμένη εργασία αρχικά επιλέχθηκαν οι πηγές εκπομπής σκόνης και ύστερα τα σημεία που θα γίνουν οι μετρήσεις. Η απόσταση του οργάνου μέτρησης της σκόνης και της πηγής ήταν από 5 έως 10 μέτρα. Τα μηχανήματα που λειτουργούσαν την περίοδο των μετρήσεων ήταν ο περιστροφικός θραυστήρας και το τριβείο. Μετρήσεις επίσης έγιναν και κατά μήκος του δρόμου κίνησης των χωματουργικών αυτοκινήτων αφού συμβάλουν και αυτά σημαντικά στη δημιουργία σκόνης. Αποφασίστηκε να λαμβάνονται μετρήσεις πριν και μετά την πηγή ώστε να εκτιμηθεί η μεταβολή της συγκέντρωσης της σκόνης που προέρχεται από τη συγκεκριμένη πηγή. Οι μετρήσεις αυτές πάρθηκαν τόσο για την περίπτωση μεμονωμένης λειτουργίας ενός μηχανήματος όσο και κατά την ταυτόχρονη λειτουργία περισσότερων του ενός. Καταγράφηκαν τα μετεωρολογικά στοιχεία που επικρατούσαν στο εργοτάξιο την στιγμή των δειγματοληψιών , και ειδικά η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου προκειμένου να αξιοποιηθούν για τον εντοπισμό των περιοχών του εργοταξίου που είναι πιο επικίνδυνες (μεγάλη συγκέντρωση σκόνης) για τους εργαζόμενους κατά την διάρκεια του συνήθους δωρου εργασίας.

4.2 Περιγραφή της υπό μελέτη εταιρίας και των παραγωγικών διαδικασιών

Η εταιρία ΒΟΛΑΚ ΕΠΕ ιδρύθηκε το 1966 και έχει ως αντικείμενο την παραγωγή αδρανών υλικών για τις μονάδες σκυροδέματος, ασφαλτομιγμάτων και για έργα οδοποιίας. Βρίσκεται στο Ευηνοχώρι-Μεσολογγίου στα δυτικά της κοίτης και του αναχώματος του ποταμού Εύηνου και επεκτείνεται σε 90 στρέμματα, μέσα στα οποία υπάρχουν τα γραφεία, τα μηχανήματα, οι χώροι στάθμευσης και οι υπόλοιποι χώροι για την αποθήκευση των αδρανών υλικών. Απασχολεί γύρω στα 12

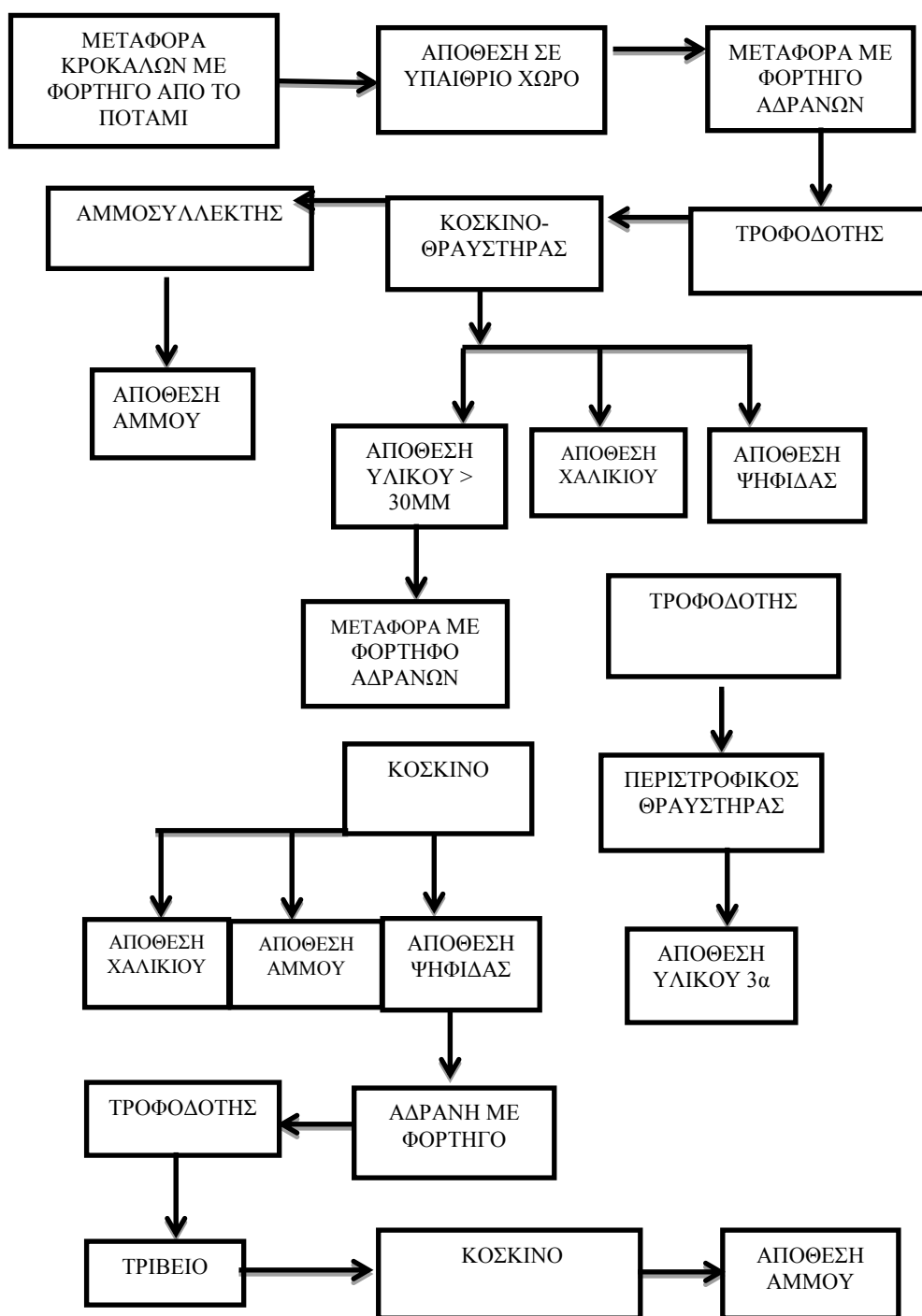
άτομα, εκ των οποίων δύο μηχανικούς αυτοκινήτων, ένα περιβαλλοντολόγο, ένα χημικό μηχανικό, χειριστές των μηχανημάτων και οδηγούς.

Τα πρωτογενή υλικά που χρησιμοποιεί η εταιρία προέρχονται από τις αποθέσεις του ποταμού Ευήνου. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής, περιλαμβάνουν τις σύγχρονες αποθέσεις στην κοίτη του Ευήνου, τις ποτάμιες αναβαθμίδες, τα σύγχρονα και παλιά πλευρικά κορήματα και ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες τον μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη (παχυστρωματώδεις σχηματισμοί του φλύσχη της ζώνης «Γαβρόβου-Τριπόλεως») (Μανούτσογλου, 2007).

Το υλικό που εκμεταλλεύεται η εταιρία είναι κροκάλες από το ποτάμι και η σύστασή του είναι ασβεστολιθική με μικρή ύπαρξη δολομίτη. Τα παραγόμενα αδρανή υλικά χρησιμοποιούνται προς πώληση στην αγορά οικοδομικών υλικών και για παραγωγή έτοιμου σκυροδέματος. Το υλικό που επεξεργάζεται ανά χρόνο φτάνει περίπου στα 25000 m³.

Στόχος της επιχείρησης είναι η επεξεργασία αδρανών υλικών και η παραγωγή διαφόρων κοκκομετρικών κλασμάτων. Οι κατηγορίες που παράγει η εταιρία, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κανονισμού τεχνολογίας σκυροδέματος και ασφαλτομιγμάτων είναι:

- σκύρο (30-12 mm)
- ψηφίδα (12-4 mm)
- άμμος (<4 mm)



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας θράυσης/πλύσης του εργοταξίου.

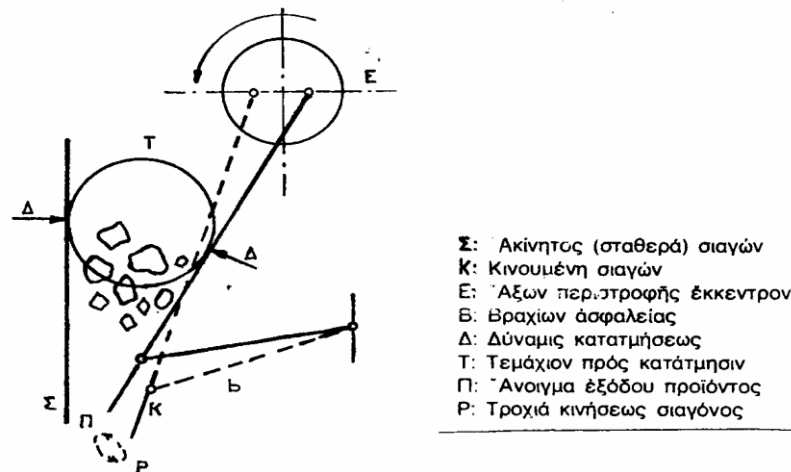
Στο διάγραμμα ροής, που φαίνεται στο Σχήμα 4.1, δίνονται σχηματικά οι ακολουθούμενες διαδικασίες θραύσης-ταξινόμησης του υλικού από το πρώτο στάδιο που λαμβάνεται από τις όχθες του ποταμού μέχρι την διακίνησή του προς την αγορά. Η πρώτη φάση θραύσης πραγματοποιείται σε σιαγωνωτό θραυστήρα. Από αυτό εξάγονται τα τρία είδη κλάσματος καθώς και το υλικό που θα τροφοδοτήσει τη δεύτερη φάση θραύσης. Ο κρουστικός θραυστήρας ή «σπαστήρας», εκτός από τις κροκάλες άμεσα από τον ποταμό, δέχεται σαν τροφοδοσία και το υλικό που προέκυψε από τον σιαγωνωτό θραυστήρα διαμέτρου άνω των 30mm. Τα προϊόντα του αποτελούν το σκύρο, την ψηφίδα και την άμμο, είναι κατάλληλα για παρασκευή έτοιμου σκυροδέματος ή για προώθηση στην αγορά οικοδομικών υλικών. Τροφοδοσία της τρίτης φάσης θραύσης, που αποτελεί ο φυγοκεντρικός θραυστήρας ή «τριβείο», είναι η ψηφίδα που προέκυψε από την προηγούμενη διαδικασία. Παράγεται τεχνητή άμμος, η οποία και αυτή με την σειρά της θα προωθηθεί προς πώληση στην αγορά. Καθ' όλη την διαδικασία αυτή παράγεται και διασπείρεται σημαντική ποσότητας σκόνης.

4.2.1 Περιγραφή της διαδικασίας πρωτογενούς θραύσης με σιαγωνωτούς θραυστήρες

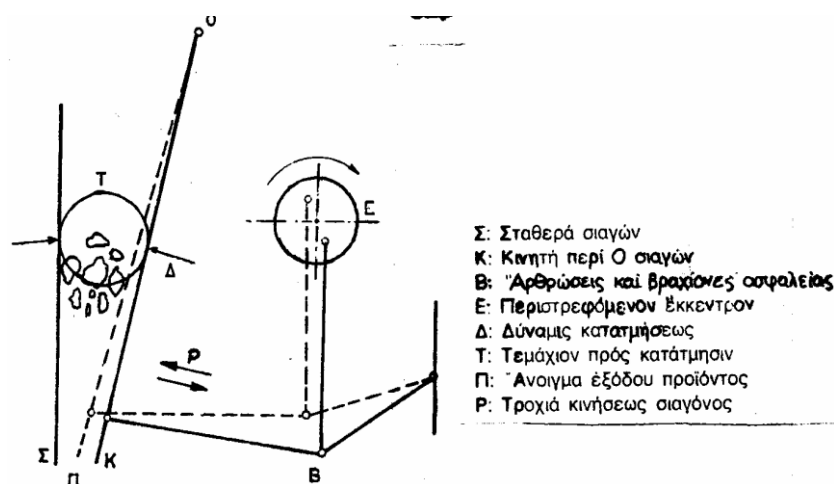
Η πρωτογενής θραύση πραγματοποιείται από τους παρακάτω τύπους θραυστήρων:

- Σιαγωνωτός θραυστήρας της εταιρίας Blake που έχει σταθερό άνοιγμα τροφοδοσίας και μεταβλητό άνοιγμα εξόδου του υλικού (Σχήμα 4.4). Ο ρυθμός τροφοδοσίας ανέρχεται σε 60 m³/h χονδρόκοκκου υλικού. Το μέγιστο μέγεθος του υλικού τροφοδοσίας είναι 20 εκατοστά, ενώ το άνοιγμα εξόδου ρυθμίζεται από 10 έως 30 mm. Η κινητή σιαγόνα του θραυστήρα κινείται γύρω από έναν άξονα εκτελώντας μια κίνηση ελλειπτικής μορφής, η οποία προκαλεί την θραύση του υλικού με συμπίεση και τριβή. Κατά καιρούς, έχουν γίνει ορισμένες μετατροπές στον τύπο σιαγωνωτού σπαστήρα που σχεδίασε ο W.E. Blake το 1858 και σήμερα επικρατούν δύο κύριες μορφές με απλό και διπλό βραχίονα. Ο τύπος σιαγωνωτού σπαστήρα με απλό βραχίονα παρουσιάζεται στο σχήμα 4.2. Το πάνω μέρος της κινητής σιαγόνας κινείται γύρω από έναν άξονα, με αποτέλεσμα όταν κλείνει η σιαγόνα να κινείται συγχρόνως και προς τα κάτω έτσι, ώστε να σπρώχνει το υλικό προς την έξοδο. Η κίνηση αυτή, εκτός από τις

θλιπτικές δυνάμεις, δημιουργεί και δυνάμεις τριβής με συνέπεια την αυξημένη φθορά των σιαγόνων. Το πλεονέκτημα είναι ότι δεν φράζει εύκολα. Ο τύπος σιαγωνωτού σπαστήρα με διπλό βραχίονα παρουσιάζεται στο σχήμα 4.3. Επειδή το πάνω μέρος της κινητής σιαγόνας είναι σταθερό, δημιουργείται μόνο θλιπτική κίνηση κατά το κλείσιμο της σιαγόνας. Ο τύπος αυτός έχει τη μικρότερη φθορά και ενδείκνυται για σκληρά υλικά.



Σχήμα 4.2: Σχηματική διάταξη σιαγωνωτού σπαστήρα απλού βραχίονα (Σταμπολιάδης, 2008).



Σχήμα 4.3: Τομή σιαγωνωτού σπαστήρα διπλού βραχίονα (Σταμπολιάδης, 2008).

- Σιαγωνωτός θραυστήρας Dodge όπου έχει μεταβλητό άνοιγμα τροφοδοσίας και σταθερό άνοιγμα εξόδου του υλικού. Οι θραυστήρες τύπου Dodge πλεονεκτούν, όσον αφορά την ομοιομορφία του μεγέθους του προϊόντος, μειονεκτούν όμως ως προς τη μεγαλύτερη πιθανότητα έμφραξης που εμφανίζουν.
- Σιαγωνωτός θραυστήρας Universal όπου έχει μεταβλητό άνοιγμα και στην είσοδο και στην έξοδο.

Το άνοιγμα στο πάνω μέρος των σιαγόνων καθορίζει το μέγεθος των τεμαχίων της τροφοδοσίας, ενώ το άνοιγμα στο κάτω μέρος καθορίζει το μέγεθος του προϊόντος που είναι μεταβαλλόμενο. Οι σιαγωνωτοί θραυστήρες χρησιμοποιούνται στην πρωτογενή και δευτερογενή θραύση και είναι μεγάλης αντοχής (Σταμπολιάδης, 2008).



Σχήμα 4.4: Σιαγωνωτός θραυστήρας

4.2.2 Περιγραφή της διαδικασίας δευτερογενούς θραύσης με κρουστικό θραυστήρα

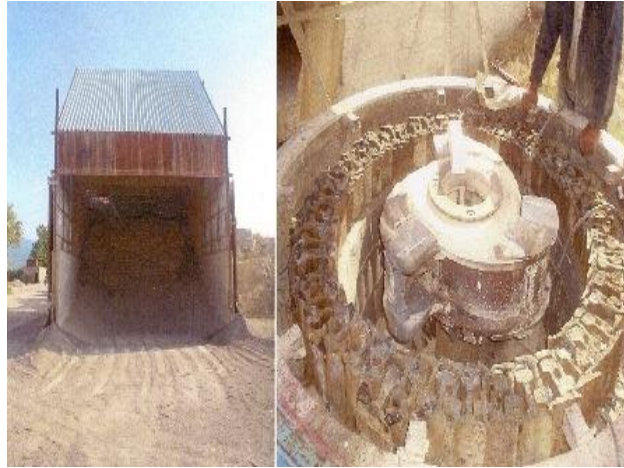
Ο κρουστικός θραυστήρας που χρησιμοποιείται στη φάση αυτή αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο ρότορα επάνω στον οποίο είναι ενσωματωμένα πέλματα κρούσεως που προεξέχουν και ζυγίζουν 40kg το καθένα. Η τροφοδοσία του ανέρχεται σε 20 m³/h χονδρόκοκκου υλικού. Ο ρότορας περιστρέφεται με 800 στροφές/λεπτό μέσα σε ένα κέλυφος στην εσωτερική πλευρά του οποίου υπάρχουν πέλματα ανακρούσεως (Σχήμα 4.5). Το υλικό που εισέρχεται στον σπαστήρα κρούεται με δύναμη από τα περιστρεφόμενα πέλματα κρούσεως, όπου εν μέρει σπάζει και εκσφενδονίζεται επί των πελμάτων ανακρούσεως, όπου σπάζει περαιτέρω. Το προϊόν της θραύσης εξέρχεται από το κάτω μέρος του σπαστήρα. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται τα τρία ακόλουθα κλάσματα: άμμος, ψηφίδα και σκύρα (Σταμπολιάδης, 2008).



Σχήμα 4.5: Κρουστικός θραυστήρας

4.2.3 Περιγραφή της διαδικασίας τριτογενούς θραύσης (τριβείο)

Κατά τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται ένας φυγοκεντρικός σπαστήρας που τροφοδοτείται με ψηφίδα για την παραγωγή άμμου. Η τροφοδοσία του ανέρχεται σε 45 m³/h περίπου και ο ρότοράς του περιστρέφεται με 2400 στροφές/λεπτό. Λόγω της φυγόκεντρου δύναμης που αναπτύσσεται το υλικό εκτοξεύεται στα τοιχώματα και θρυμματίζεται (Σχήμα 4.6). Έτσι δημιουργείται η λεγόμενη τεχνητή άμμος, η οποία συγκεντρώνεται σε ένα κλειστό χώρο για την αποφυγή δημιουργίας σκόνης (Σταμπολιάδης, 2008).



Σχήμα 4.6: Φυγοκεντρικός θραυστήρας.

4.3 Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις δειγματοληψίες

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι το φορητό όργανο Dust-Track της εταιρείας TSI με χώρα προέλευσης ΗΠΑ, με το οποίο αλλάζοντας ειδικά φίλτρα που εισάγονται μετά την κεφαλή δειγματοληψίας υπάρχει η δυνατότητα για την μέτρηση της συγκέντρωσης των κλασμάτων PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 . Τέλος, για τη μέτρηση των περιβαλλοντικών μετεωρολογικών παραμέτρων, δηλαδή της ταχύτητας του αέρα, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος, χρησιμοποιήθηκε το όργανο μέτρησης VelociCalc της εταιρείας TSI. Όλα τα όργανα τοποθετήθηκαν κατά τη μέτρηση σε κατάλληλη βάση στήριξης σε ύψος ενός περίπου μέτρου από το έδαφος.

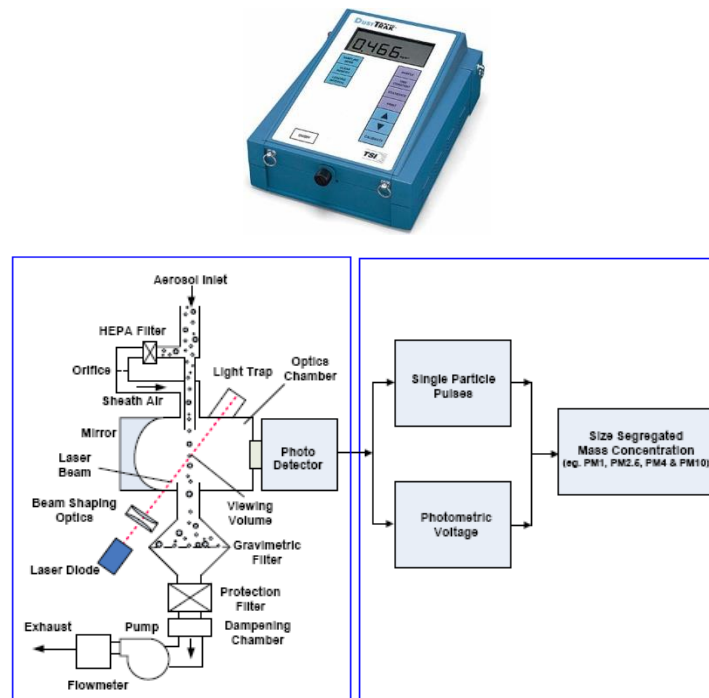
4.3.1 Αρχή λειτουργίας του οργάνου Dust-Track

Η μέτρηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων πραγματοποιήθηκε με το όργανο TSI 8520 DustTrack Airborne Particle Monitor (Σχήμα 4.7), που έχει σχεδιαστεί για την μέτρηση των αιωρούμενων σωματιδίων σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους σε πραγματικό χρόνο. Η λειτουργία του οργάνου αυτού βασίζεται στη σκέδαση του φωτός (φαινόμενο Tyndal) προκειμένου να μετρήσει τη συγκέντρωση της σκόνης του αέρα.

Το όργανο αυτό είναι ένα φωτόμετρο σκέδασης με δικιά του ενσωματωμένη αντλία δειγματοληψίας αέρα. Μπορεί και μετρά την συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων συγκεκριμένων κλασμάτων, τα PM_{10} , $PM_{2.5}$ και PM_1 καθώς και το εισπνεύσιμο (ολικό) κλάσμα της σκόνης. Το εύρος μέτρησης της

συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων αυτού του οργάνου είναι από 0.001 έως 100 mg/m³.

Στο Σχήμα 4.7 δίνεται παραστατικά η αρχή λειτουργίας του TSI 8520 DustTrack. Το ρεύμα του αέρα που περιέχει τη σκόνη εισέρχεται μέσα στο θάλαμο μέτρησης χρησιμοποιώντας μια αντλία διαφράγματος. Μέρος του ρεύματος περνάει μέσα από ένα φίλτρο HEPA όπου καθαρίζεται πλήρως από τα σωματίδια της σκόνης και διοχετεύεται στο θάλαμο μέτρησης. Η εναπομείνουσα ροή, που ονομάζεται ροή δείγματος, περνάει δια μέσου της εισόδου και εισέρχεται στο θάλαμο μέτρησης. Φωτίζεται από μια δέσμη φωτός λέιζερ. Το φως που εκπέμπεται από τη δίοδο περνά δια μέσου ενός εστιακού φακού και μετά δια μέσου ενός κυλινδρικού φακού ώστε να δημιουργηθεί μια λεπτή επίπεδη δέσμη φωτός. Ένας σφαιρικός καθρέφτης επικαλυμμένος με χρυσό αντανακλά ένα σημαντικό μέρος του φωτός που διασκορπίζεται από τα σωματίδια της σκόνης και το εστιάζει σε έναν φωτοανιχνευτή που μετατρέπει την ένταση του φωτός που δέχεται σε τάση. Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης της σκόνης με βάση τον φωτοανιχνευτή έχει πραγματοποιηθεί από τον κατασκευαστή κατάλληλη βαθμονόμηση του οργάνου (ISO 12103-1, A1 test dust).

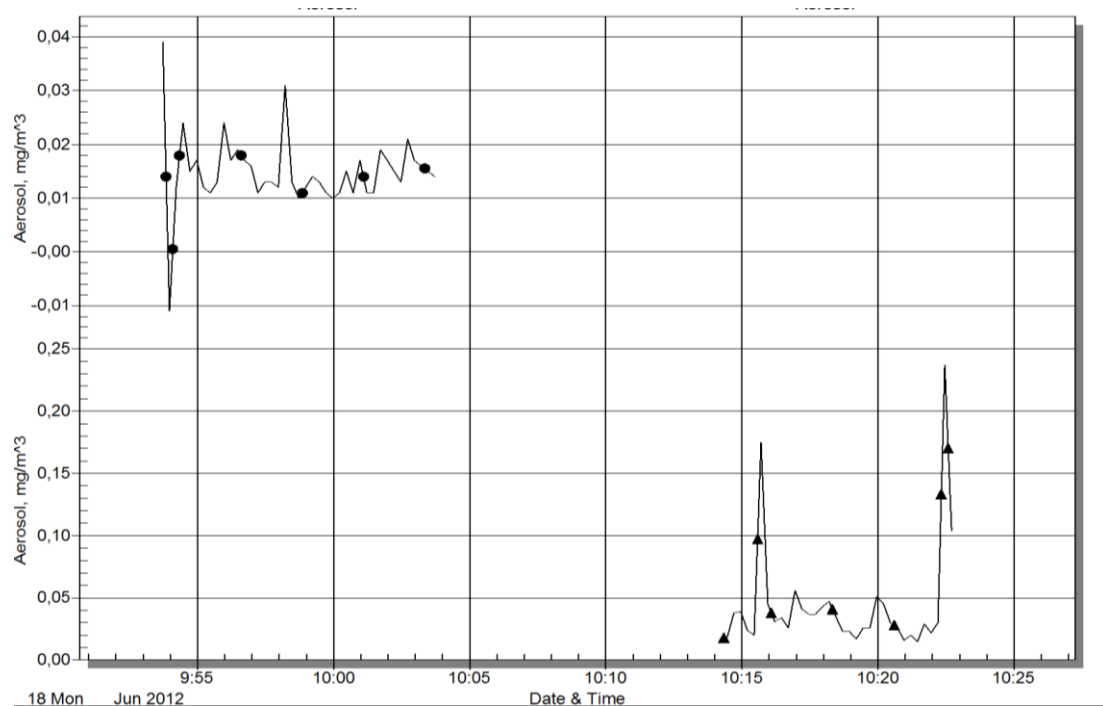


Σχήμα 4.7: TSI 8520 DustTrack Airborne Particle Monitor και σχηματική παράσταση λειτουργίας του.

Οι μετρήσεις εμφανίζονται επί της οθόνης του οργάνου και μπορούν να αποθηκευτούν και να μεταφερθούν σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού (TrakPro version 4.2.015 της TSI) που το συνοδεύει. Στο πίνακα 4.1 δίνεται ένα τυπικό απόσπασμα από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, όπου παρουσιάζεται η ημερομηνία μέτρησης, ο χρόνος μέτρησης και η συγκέντρωση της σκόνης σε mg/m^3 , ενώ στο σχήμα 4.8 απεικονίζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης της σκόνης ως συνάρτηση του χρόνου μέτρησης.

Πίνακας 4.1: Πίνακας μετρήσεων με τη βοήθεια του οργάνου DustTrak.

TrakPro v3.6.2 Serial Number:8502182, Cal.Date:Aerosol, 23/04/2007	Test: Test006	Date:18/06/2012
Date dd/mm/yyyy	Time hh:mm:ss	Aerosol mg/m^3
18/6/2012	9:53:43	0.039
18/6/2012	9:53:58	0.011
18/6/2012	9:54:13	0.012
18/6/2012	9:54:28	0.024
18/6/2012	9:54:43	0.015
18/6/2012	9:54:58	0.017
18/6/2012	9:55:13	0.012
18/6/2012	9:55:28	0.011
18/6/2012	9:55:43	0.013
18/6/2012	9:55:58	0.024
18/6/2012	9:56:13	0.017
18/6/2012	9:56:28	0.019
18/6/2012	9:56:43	0.017
18/6/2012	9:56:58	0.016
18/6/2012	9:57:13	0.011
18/6/2012	9:57:28	0.013
18/6/2012	9:57:43	0.013
18/6/2012	9:57:58	0.012
18/6/2012	9:58:13	0.031
18/6/2012	9:58:28	0.013
18/6/2012	9:58:43	0.010
18/6/2012	9:58:58	0.012
18/6/2012	9:59:13	0.014
18/6/2012	9:59:28	0.013
18/6/2012	9:59:43	0.011
18/6/2012	9:59:58	0.010
18/6/2012	10:00:13	0.011
18/6/2012	10:00:28	0.015
18/6/2012	10:00:43	0.011
18/6/2012	10:00:58	0.017
18/6/2012	10:01:13	0.011
18/6/2012	10:01:28	0.011
18/6/2012	10:01:43	0.019
18/6/2012	10:01:58	0.017
18/6/2012	10:02:13	0.015
18/6/2012	10:02:28	0.013
18/6/2012	10:02:43	0.021
18/6/2012	10:02:58	0.017
18/6/2012	10:03:13	0.016
18/6/2012	10:03:28	0.015
18/6/2012	10:03:43	0.014



Σχήμα 4.8: Χρονική μεταβολή των συγκεντρώσεων σκόνης δύο διαφορετικών μετρήσεων που ελήφθησαν με τη βοήθεια του οργάνου DustTrak και επεξεργάστηκαν με το λογισμικό TrakPro (version 4.2.015) της TSI.

Η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας του αέρα πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της συσκευής TSI VelociCalc (Σχήμα 4.9), η οποία είναι εύκολη στη χρήση της. Αποτελείται από μία κεραία 0,80 m που στο άκρο της έχει πολύ ευαίσθητους αισθητήρες που μετρούν τη ροή του αέρα (flowrate σε m^3/h), την θερμοκρασία (T σε $^{\circ}\text{C}$), την υγρασία (RH %) και την ταχύτητα του ανέμου (m/s) στο χώρο.



Σχήμα 4.9: Όργανο μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας του αέρα τύπου TSI VelociCalc

4.4. Διενέργεια μετρήσεων

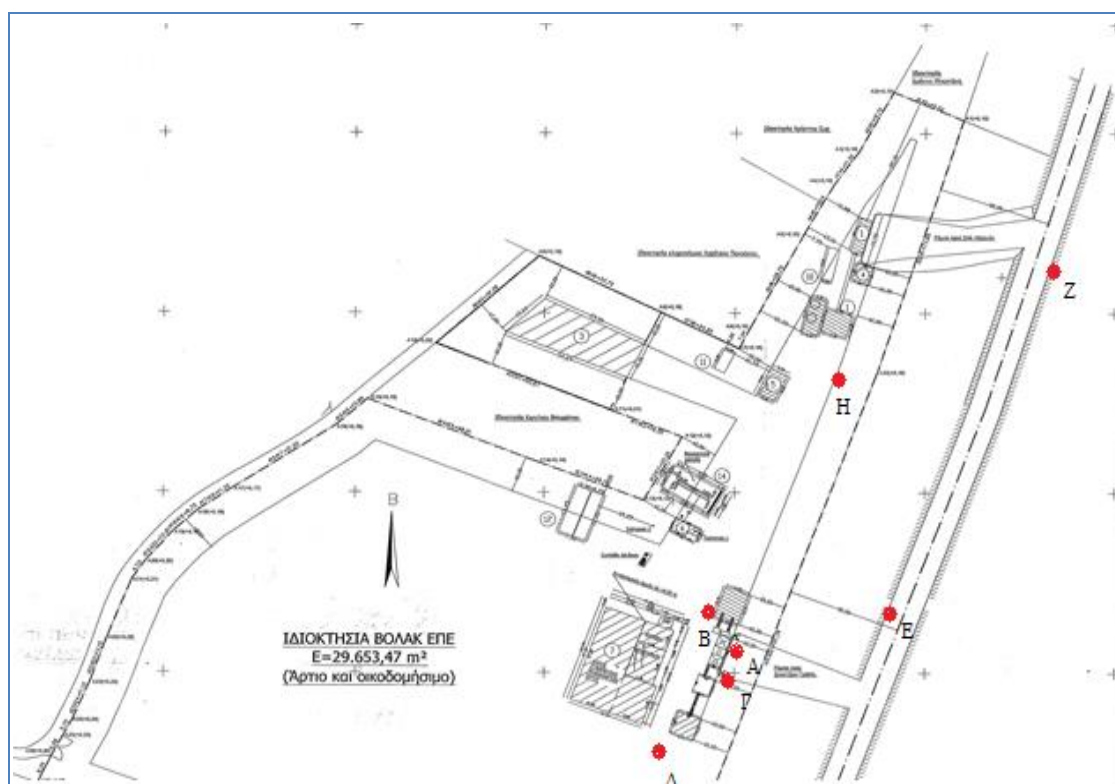
Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 24 μετρήσεις κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο του 2012 στο χώρο του εργοταξίου. Οι ώρες πραγματοποίησης των μετρήσεων αυτών ήταν μεταξύ 10:00 – 13:00. Στόχος των μετρήσεων ήταν ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του αναπνεύσιμου κλάσματος των αιωρούμενων σωματιδίων προκειμένου να ελεγχθεί εάν βρίσκονται μέσα στα επιτρεπτά όρια βάση νομοθεσίας αλλά και η συσχέτιση αυτών με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους και τις παραγωγικές δραστηριότητες. Η μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε για τα αιωρούμενα σωματίδια ήταν η συγκέντρωσή τους σε mg ανά κυβικό μέτρο αέρα (mg/m^3). Χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά φίλτρα για σωματίδια μέχρι $10\mu\text{m}$ (PM_{10}), για σωματίδια μέχρι $2.5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$), και τέλος μέχρι $1.0\mu\text{m}$ (PM_1). Μετρήθηκαν και τα τρία αυτά κλάσματα για κάθε πηγή εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων σε θέσεις πριν την διέλευση του ανέμου από την πηγή και σε θέσεις μετά την διέλευση του ανέμου.

Πριν την έναρξη των μετρήσεων έγινε έλεγχος καλής λειτουργίας του οργάνου μέτρησης DustTrak (έλεγχος ροής αέρα και έλεγχος με το φίλτρο μηδενισμού) και ρυθμίστηκε να λαμβάνει μετρήσεις κάθε 15 δευτερόλεπτα έτσι ώστε να προκύψει ένας ικανοποιητικός αριθμός μετρήσεων. Παράλληλα, γινόταν η μέτρηση τριών μετεωρολογικών παραμέτρων, της ταχύτητας του ανέμου U_{av} σε (m/s), της θερμοκρασίας T σε $^{\circ}\text{C}$ και της σχετικής υγρασίας RH σε (%) του περιβάλλοντος στο σημείο της δειγματοληψίας. Οι τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων καταγραφόντουσαν στην αρχή κάθε δειγματοληψίας. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα από την ιστοσελίδα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για τον μετεωρολογικό σταθμό του Αγρινίου ο οποίος απέχει από το εργοτάξιο γύρω στα 35 km (www.meteo.gr/stations). Στο πίνακα 4.2 παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά της διεξαγωγής των μετρήσεων.

Πίνακας 4.2 : Στοιχεία μετρήσεων

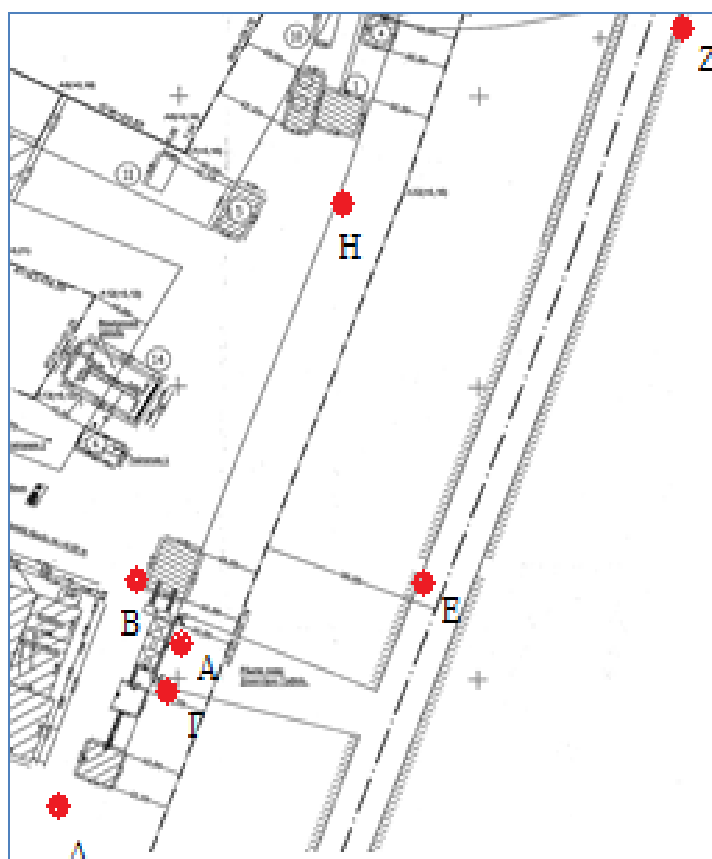
Περίοδος	Ιούλιος – Αύγουστος 2012
Τόπος	Εργοτάξιο μεταλλευτικής δραστηριότητας – Ασβεστόλιθος
Σκοπός	Καταγραφή συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων
Όργανο	DustTrak
Αριθμός μετρήσεων	24 ημερήσιες μετρήσεις μεταξύ 10.00 - 13.00
Ρυθμός δειγματοληψίας μετρήσεων	Μια τιμή ανά 15 s
Κλάσματα σωματιδίων που μετρήθηκαν	PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM _{1.0}
Μετεωρολογικές παράμετροι που μετρήθηκαν	Ταχύτητα ανέμου : U _{av} , Θερμοκρασία: T Σχετική υγρασία: RH

Στην Σχήμα 4.10 φαίνεται μία γενική κάτοψη του εργοταξίου και οι θέσεις των πηγών σωματιδίων. Στις θέσεις αυτές διενεργήθηκαν οι μετρήσεις σε θέσεις πριν και μετά την διέλευση του ανέμου από την πηγή.



Σχήμα 4.10 : Γενική κάτοψη του εργοταξίου και θέσεις μετρήσεων, σε κλίμακα 1:500.

Ειδικότερα στις θέσεις Α-Β έγιναν μετρήσεις που αφορούν τον θραυστήρα, στις θέσεις Γ-Δ το τριβείο, στις θέσεις Ε-Ζ-Η τους χώρους διέλευσης οχημάτων χωματουργικών εργασιών. Η αντιστοίχιση αυτή φαίνεται καλύτερα στη μεγέθυνση της κάτοψης του εργοταξίου (Σχήμα 4.11).



Σχήμα 4.11: Θέσεις μετρήσεων

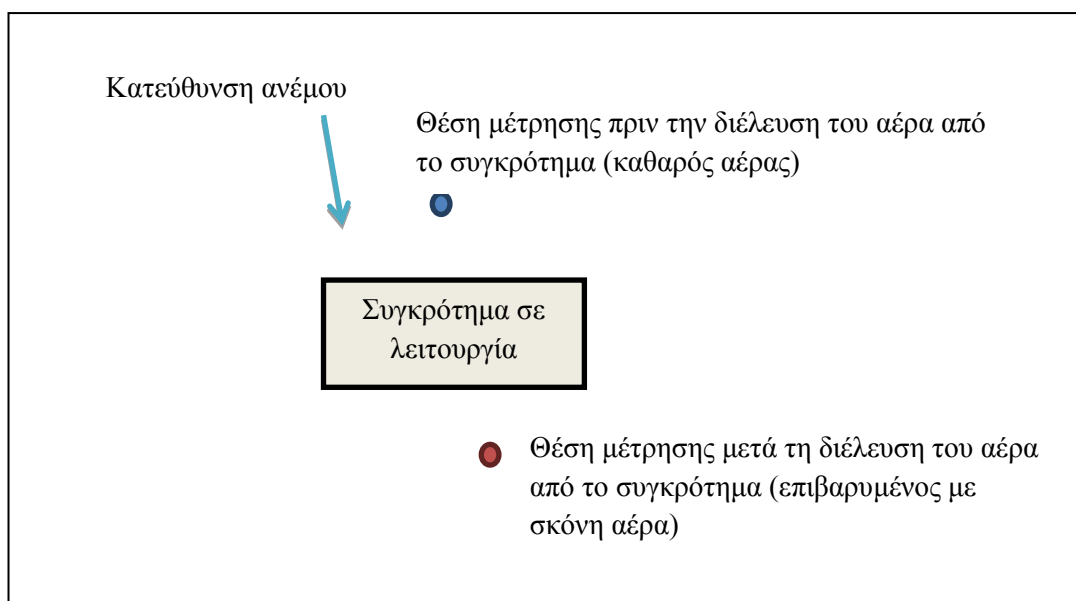
Πίνακας 4.3: Μετεωρολογικές συνθήκες κατά την διάρκεια των δειγματοληψιών.

Σημείο Μέτρησης	Μηχάνημα σε λειτουργία	Κατεύθυνση ανέμου	Μέση θερμοκρασία (°C)	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/s)	Μέση σχετική υγρασία (%)
A – B	Θραυστήρας	BA	29,8	5,5	23,6
Γ – Δ	Τριβείο_1	BA	39,7	5,0	12,7
Γ – Δ	Τριβείο_2	NΔ	35,8	2,0	20,3
E – Z – H	Διέλευση χωματουργικών	NΔ	37,8	1,7	18,4

Στο Πίνακα 4.3 παρατηρούνται μεταβολές των μετεωρολογικών παραμέτρων στα σημεία δειγματοληψίας. Η μέση ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις που θα μπορούσαν να αποδοθούν σε κατά τόπους παραμέτρους της θέσης μέτρησης. Η θερμοκρασία που μετρήθηκε στις θέσεις A – B παρουσιάζει σημαντική διαφορά από τις θερμοκρασίες των άλλων θέσεων, αυτό οφείλεται λόγω

σκιερής θέσης μέτρησης. Η σχετική υγρασία χαρακτηρίζεται από φυσιολογικές για την μέτρηση διακυμάνσεις. Οι παράγοντες αυτοί κυρίως χρησιμοποιούνται στα μοντέλα διασποράς την σκόνης από την πηγή και επηρεάζουν τις τιμές συγκεντρώσεων σκόνης σε μεγάλες αποστάσεις από την πηγή.

Οι μετρήσεις έγιναν κατά την διάρκεια λειτουργίας ενός μόνο μηχανήματος κάθε φορά. Οι θέσεις που ελήφθησαν οι μετρήσεις για κάθε πηγή επιλέχθηκαν κατάλληλα ώστε να εξασφαλίζονται δύο είδη μετρήσεων: α) μέτρηση της συγκέντρωσης της σκόνης στον αέρα πριν την διέλευσή του από το μηχάνημα και β) μέτρηση αφού έχει διέλθει από τον χώρο που βρίσκεται το μηχάνημα (σχήμα 4.12).



Σχήμα 4.12: Επιλογή θέσεων για τη μέτρηση της συγκέντρωσης της σκόνης που προέρχεται από ένα συγκρότημα που λειτουργεί.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της συγκέντρωσης ανά κλάσμα σωματιδίων που μετρήθηκε από το σύνολο των πηγών. Η διάρκεια της μέτρησης για κάθε κλάσμα σε κάθε θέση ήταν 30 min. Στο διάστημα αυτό καταγράφηκαν οι συγκεντρώσεις και διαχωρίστηκαν σε ελάχιστη, μέση και μέγιστη όπως παρουσιάζονται στους πίνακες. Από τις μετρήσεις αυτές ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν η μέση τιμή και η μέγιστη. Η μέση τιμή είναι χαρακτηριστική για την μόνιμη επιβάρυνση του αέρα από σκόνη κατά την διάρκεια λειτουργίας του μηχανήματος, ενώ η μέγιστη δείχνει τις στιγμιαίες μεταβολές παραγόντων όπως η ταχύτητα του αέρα που μπορεί να αυξήσει αντίστοιχα τις συγκεντρώσεις σκόνης.

Πίνακας 4.4: Μετρήσεις της συγκέντρωσης της σκόνης για το κλάσμα PM10 (<10μm)

	Θραυστήρας		Τριβείο_1		Τριβείο_2*		Χώρος διέλευσης χωματουργικών*	
	Πριν (Α)	Μετά (Β)	Πριν (Γ)	Μετά (Δ)	Πριν (Γ)	Μετά (Δ)	Πριν (Ε)	Μετά (Ζ)
Ελάχιστη τιμή (mg/m³)	0,010	0,015	0,017	0,156	0,010	0,012	0,010	0,027
Μέγιστη τιμή (mg/m³)	0,039	0,237	0,435	2,381	0,039	1,945	0,039	0,84
Μέση τιμή (mg/m³)	<i>0,016</i>	<i>0,043</i>	<i>0,060</i>	<i>0,859</i>	<i>0,016</i>	<i>0,254</i>	<i>0,016</i>	<i>0,069</i>

*Λόγω συνεχούς μεταβολής της κατεύθυνσης του ανέμου οι τιμές της συγκέντρωσης της σκόνης στον καθαρό αέρα ελήφθησαν ίδιες με εκείνες του θραυστήρα.

Πίνακας 4.5: Μετρήσεις της συγκέντρωσης της σκόνης για το κλάσμα PM2.5 (<2.5μm)

	Θραυστήρας		Τριβείο_1		Τριβείο_2		Χώρος διέλευσης χωματουργικών	
	Πριν (Α)	Μετά (Β)	Πριν (Γ)	Μετά (Δ)	Πριν (Γ)	Μετά (Δ)	Πριν (Ε)	Μετά (Ζ)
Ελάχιστη τιμή (mg/m³)	0,009	0,013	0,016	0,081	0,000	0,018	0,022	0,023
Μέγιστη τιμή (mg/m³)	0,044	0,202	0,114	0,602	0,031	1,376	0,085	0,214
Μέση τιμή (mg/m³)	<i>0,020</i>	<i>0,035</i>	<i>0,033</i>	<i>0,263</i>	<i>0,019</i>	<i>0,076</i>	<i>0,026</i>	<i>0,070</i>

Πίνακας 4.6: Μετρήσεις της συγκέντρωσης της σκόνης για το κλάσμα PM1.0 (<1.0μm)

	Θραυστήρας		Τριβείο_1*		Τριβείο_2*		Χώρος διέλευσης χωματουργικών	
	Πριν (Α)	Μετά (Β)	Πριν (Γ)	Μετά (Δ)	Πριν (Γ)	Μετά (Δ)	Πριν (Ε)	Μετά (Ζ)
Ελάχιστη τιμή (mg/m³)	0,001	0,002	0,001	0,037	0,001	0,011	0,023	0,023
Μέγιστη τιμή (mg/m³)	0,045	0,051	0,045	0,647	0,045	2,748	0,116	0,212
Μέση τιμή (mg/m³)	0,014	0,018	0,014	0,093	0,014	0,05	0,031	0,071

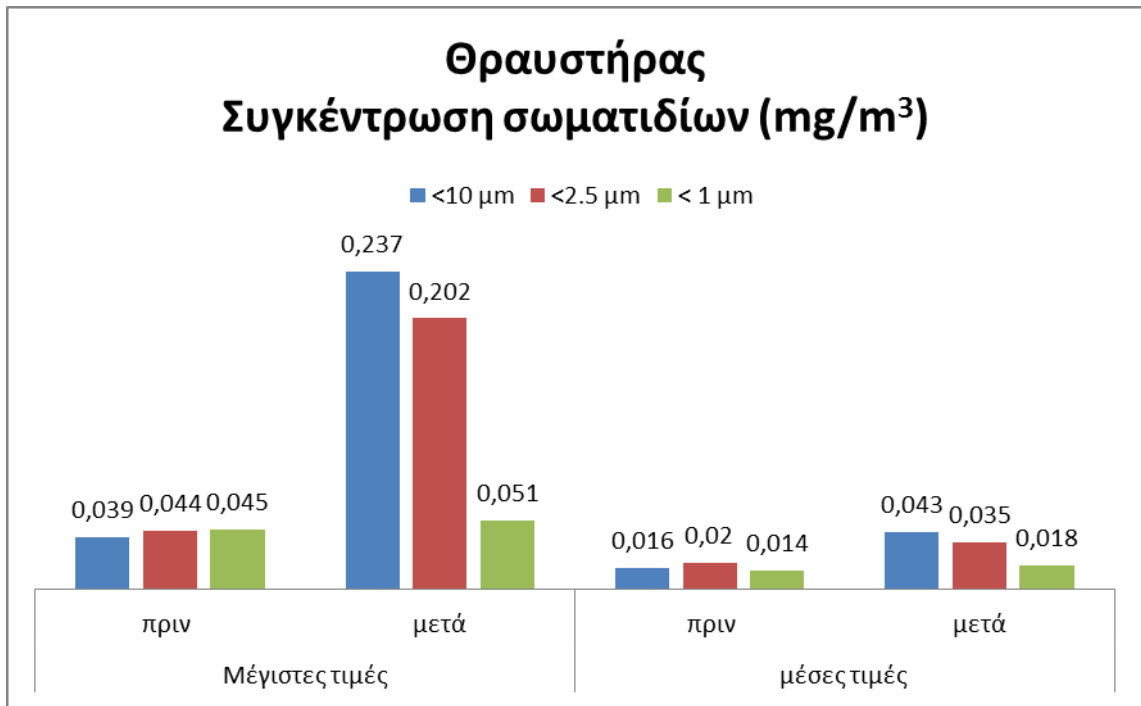
*Λόγω συνεχούς μεταβολής της κατεύθυνσης του ανέμου οι τιμές της συγκέντρωσης της σκόνης στον καθαρό αέρα ελήφθησαν ίδιες με εκείνες του θραυστήρα.

4.5 Επεξεργασία μετρήσεων

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα κατασκευαστούν διαγράμματα στα οποία θα παρουσιάζονται οι μέγιστες και οι μέσες τιμές που υπολογίστηκαν για κάθε μηχανήμα πριν και μετά από την διέλευση του ανέμου. Οι ίδιες τιμές θα τοποθετηθούν σε διαγράμματα με κριτήριο αυτή τη φορά τα κλάσματα των αιωρούμενων σωματιδίων (PM10, PM2.5, PM1.0). Σκοπός είναι να συγκριθούν αυτές οι τιμές και να παρατηρηθούν οι διακυμάνσεις τους αλλά και οι μεταξύ τους αυξομειώσεις. Επιπλέον θα προκύψει ποιο μηχανήμα έχει υψηλότερη εκπομπή σκόνης καθώς και το κλάσμα σωματιδίων που επικρατεί στο εργοτάξιο. Επίσης θα είναι δυνατή η εκτίμηση των εκπομπών σκόνης για κάθε μηχανήμα καθώς και η συμβολή της κατεύθυνσης του ανέμου στη διασπορά της σκόνης εντός του εργοταξίου. Τέλος, θα πραγματοποιηθεί σύγκριση των συγκεντρώσεων με τα όρια που ορίζονται από την σχετική νομοθεσία.

4.5.1 Θραυστήρας

Στο Σχήμα 4.13 παρατίθεται συγκεντρωτικό διάγραμμα για το θραυστήρα με τις μέσες και μέγιστες συγκεντρώσεις της σκόνης, σε όλα τα κλάσματα, σε θέση μέτρησης πριν και μετά τη διέλευση του ανέμου.



Σχήμα 4.13: Συγκεντρώσεις των μέσων και μέγιστων τιμών στα κλάσματα PM10, PM2.5 και PM1.0

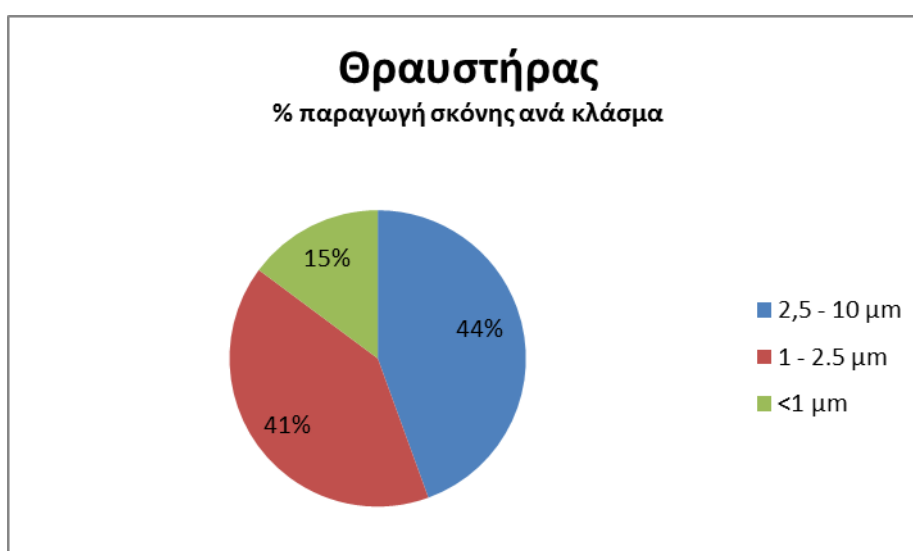
Όπως ήταν αναμενόμενο οι μετρήσεις και στα τρία κλάσματα πριν την διέλευση του ανέμου είναι μικρότερες από τις μετρήσεις μετά. Παρατηρείται σημαντική αύξηση στο κλάσμα των PM10 και PM2.5, που σημαίνει ότι στην παραγόμενη σκόνη επικρατούν ποσοτικά τα δύο παραπάνω κλάσματα και ιδιαίτερα των PM10 μιας και εμπεριέχει και τα άλλα δύο μικρότερα κλάσματα (PM2.5, PM1.0). Για το κλάσμα των PM1.0 φαίνεται ότι δεν υπάρχει μεγάλη αλλαγή στην συγκέντρωση πριν και μετά την διέλευση του ανέμου. Οι συγκεντρώσεις της παραγόμενης σκόνης από το θραυστήρα είναι αυξημένες (ειδικότερα οι μέγιστες τιμές) για το αναπνεύσιμο ($d \leq 2.5 \mu\text{m}$) και εισπνεύσιμο ($d \leq 10 \mu\text{m}$) κλάσμα.

Στο πίνακα 4.7 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις σκόνης που παράγονται κατά την διέλευση του ανέμου στον θραυστήρα για κάθε κλάσμα μεγέθους σωματιδίων.

Πίνακας 4.7: Κοκκομετρική κατανομή της σκόνης που παράγεται στο θραυστήρα

Μέγεθος σωματιδίων σε μm	Μέσες τιμές συγκέντρωσης (mg/m^3)		Αύξηση της συγκέντρωσης της σκόνης (mg/m^3)
	Πριν	Μετά	
<10	0,016	0,043	0,027
<2.5	0,02	0,035	0,015
< 1	0,014	0,018	0,004
Κλάσμα σωματιδίων σε μm	Συγκέντρωση ανά κλάσμα (mg/m^3)		Ποσοστό % κ.β. σκόνης που παράχθηκε ανά κλάσμα
2,5 – 10	0,012		44
1 – 2.5	0,011		41
<1	0,004		15

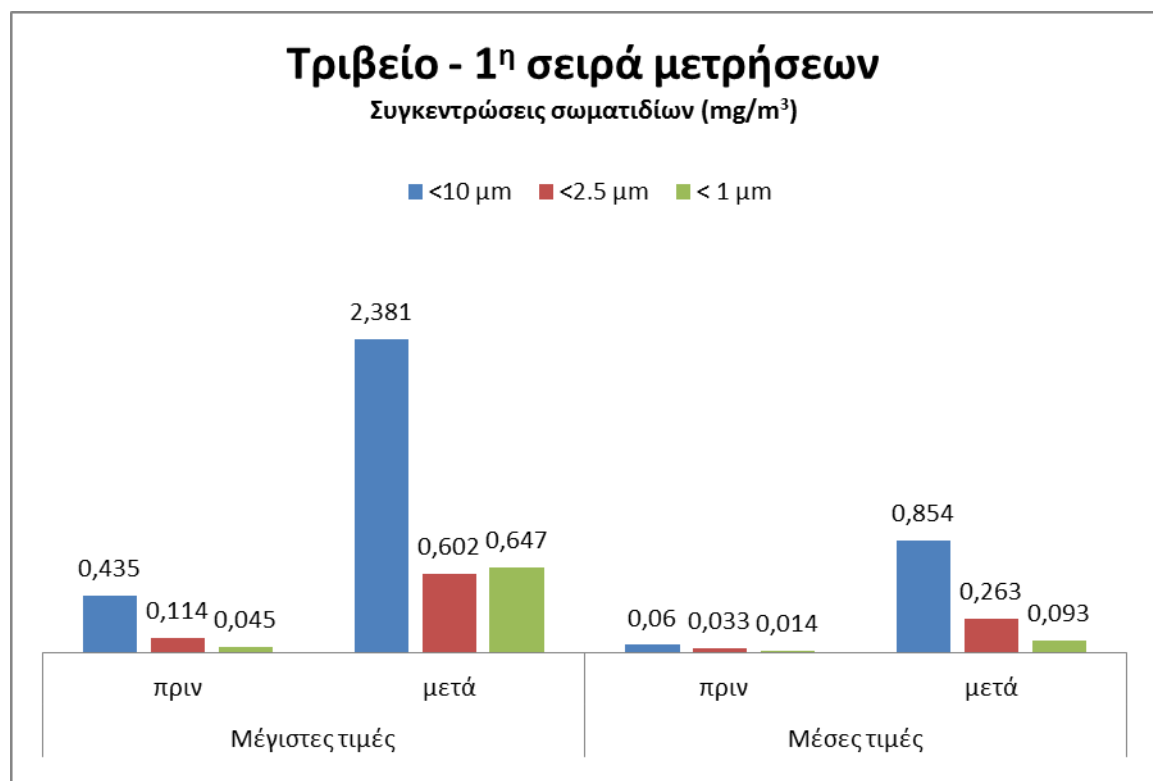
Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας του παραπάνω πίνακα συνοψίζονται στο γράφημα που ακολουθεί (Σχήμα 4.14). Ο θραυστήρας κατά την λειτουργία του φαίνεται να εκπέμπει εξίσου σωματίδια μεγέθους 2.5 – 10 μm και 1 – 2.5 μm , ενώ δεν επιβαρύνει σημαντικά τον ατμοσφαιρικό αέρα με σωματίδια μεγέθους <1 μm .



Σχήμα 4.14 : Αναλογία κλασμάτων PM10-2.5 PM2.5-1 και PM1 στη σκόνη που παράγει ο θραυστήρας (% κ.β).

4.5.2 Τριβείο

Αναφορικά με το τριβείο έγιναν δύο σειρές μετρήσεων όπως αυτές αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Τα συγκριτικά αποτελέσματα στην πρώτη από τις δύο σειρές μετρήσεων φαίνονται στο Σχήμα 4.15. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών δείχνουν σημαντικές διαφορές τόσο στις μέσες όσο και στις μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων μεταξύ των μετρήσεων που ελήφθησαν πριν και μετά την διέλευση του ανέμου. Το τριβείο παρουσιάζει συγκριτικά με τις άλλες περιπτώσεις θέσεων που έγιναν μετρήσεις περισσότερες ώρες λειτουργίας, με αποτέλεσμα την συγκέντρωση σκόνης στο έδαφος σε αυτή την περιοχή. Αυτό οδηγεί και σε μεγάλες αυξομειώσεις των συγκεντρώσεων σε απότομες αλλαγές του ανέμου, οι οποίες οφείλονται και στο ανασήκωμα σκόνης από το έδαφος. Το γεγονός αυτό δυσκολεύει σημαντικά τη διαδικασία μέτρησης των συγκεντρώσεων και ειδικότερα την αξιολόγηση των τιμών σχετικά με την παραγωγή σκόνης από την πηγή κατά την διάρκεια της λειτουργίας της.

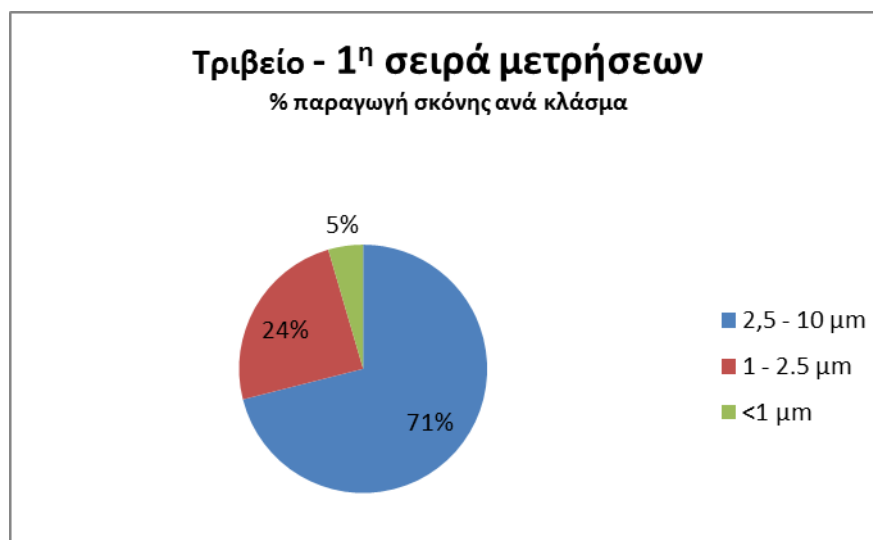


Σχήμα 4.15: Συγκεντρώσεις των μέσων και μέγιστων τιμών στα κλάσματα PM10, PM2.5 και PM1.0

Στο Πίνακα 4.8 παρουσιάζεται η επεξεργασία των μετρήσεων της συγκέντρωσης, η οποία οδηγεί στον υπολογισμό της ποσότητας σκόνης που παράγεται κατά την διάρκεια της λειτουργίας. Χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές των μετρήσεων για κάθε κλάσμα σωματιδίων και εκτιμήθηκε πως η συγκέντρωση της σκόνης που παράγεται για το κλάσμα PM_{10} είναι 0.79 mg/m^3 . Σχετικά με την αναλογία της παραγόμενης σκόνης σε επιμέρους κλάσματα μεγέθους σωματιδίων υπολογίζεται πως περίπου το 71 % της σκόνης που παράγεται συγκεντρώνεται μεταξύ $2.5 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται συνοπτικά στο Σχήμα 4.16.

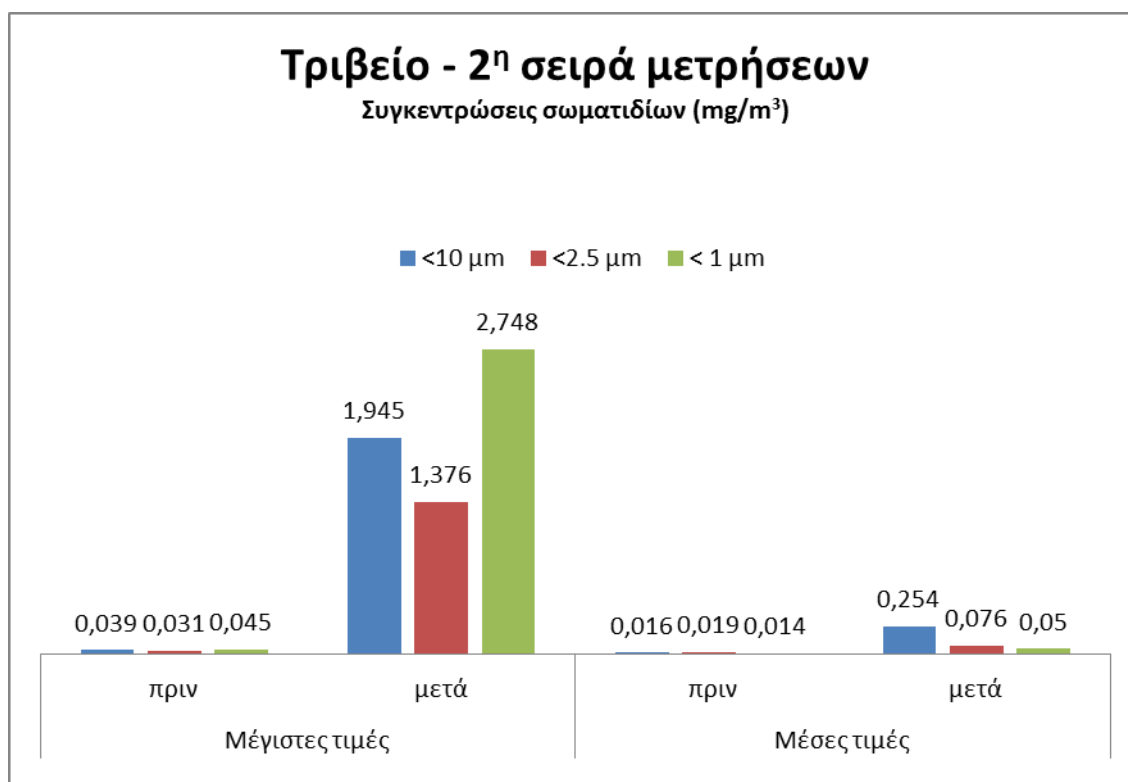
Πίνακας 4.8: Ποσότητες σκόνης που παράγονται στο τριβείο (πρώτη σειρά μετρήσεων)

Μέγεθος σωματιδίων σε μm	Μέσες τιμές συγκέντρωσης (mg/m^3)		Αύξηση της συγκέντρωσης της σκόνης (mg/m^3)
	Πριν	Μετά	
<10	0,06	0,854	0,794
<2.5	0,033	0,263	0,23
< 1	0,014	0,093	0,079
Κλάσμα σωματιδίων σε μm	Συγκέντρωση της σκόνης ανά κλάσμα (mg/m^3)		Ποσοστό % κ.β. σκόνης που παράχθηκε ανά κλάσμα
2.5 – 10	0,564		71
1 – 2.5	0,151		19
<1	0,079		10



Σχήμα 4.16: Αναλογία κλασμάτων σκόνης που παράγει το τριβείο σε % κ.β. (πρώτη σειρά μετρήσεων).

Η δεύτερη σειρά μετρήσεων στο τριβείο έγινε με νοτιοδυτικό άνεμο και σχετικά χαμηλή ταχύτητα ανέμου. Αυτό δυσκόλεψε αρκετά τη διαδικασία των μετρήσεων εξαιτίας των συσσωρευμένων στο έδαφος ποσοτήτων σκόνης οι οποίες σε μεταβολές του ανέμου ανασηκώνονται δημιουργώντας διαφοροποιήσεις στις μετρούμενες τιμές της συγκέντρωσης. Τα συγκριτικά αποτελέσματα σε αυτή την σειρά των μετρήσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.17.

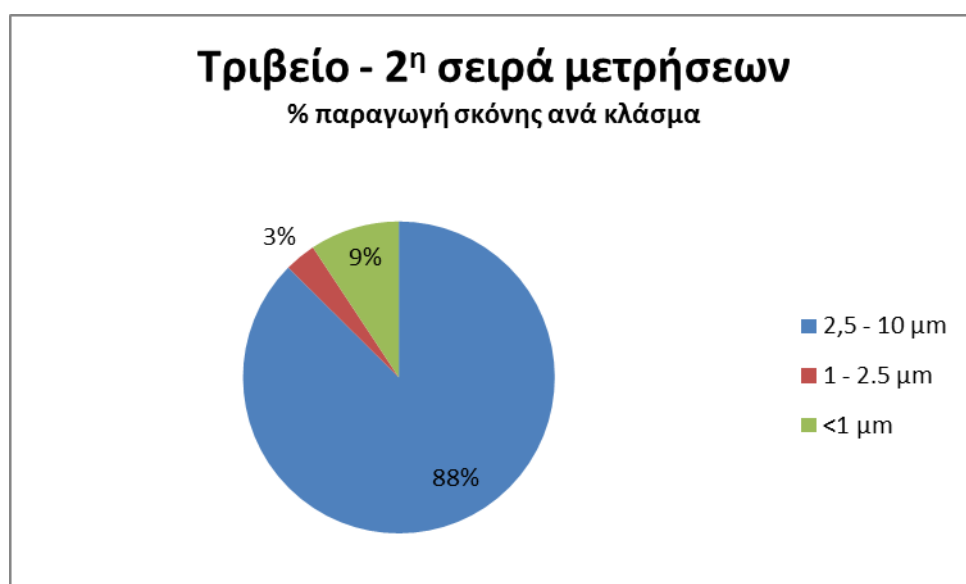


Σχήμα 4.17: Συγκεντρώσεις των μέσων και μέγιστων τιμών στα κλάσματα PM10, PM2.5 και PM1.0

Στο σχήμα 4.18 παρουσιάζεται η επεξεργασία των παραπάνω μετρήσεων ώστε να υπολογιστεί η ποσότητα σκόνης που παράγεται κατά τη λειτουργία του τριβείου κατά την διέλευση ΝΔ ανέμου (δεύτερη σειρά μετρήσεων). Παρατηρείται ότι ανάλογα με την περίπτωση της πρώτης σειράς μετρήσεων για το τριβείο, η περιεκτικότητα της σκόνης που παράγεται υπολογίζεται ότι είναι πολύ υψηλή για το κλάσμα 2.5 ~ 10 μm φτάνοντας το 82%. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται συνοπτικά στο Σχήμα 4.18.

Πίνακας 4.9: Ποσότητες σκόνης που παράγονται στο τριβείο (δεύτερη σειρά μετρήσεων)

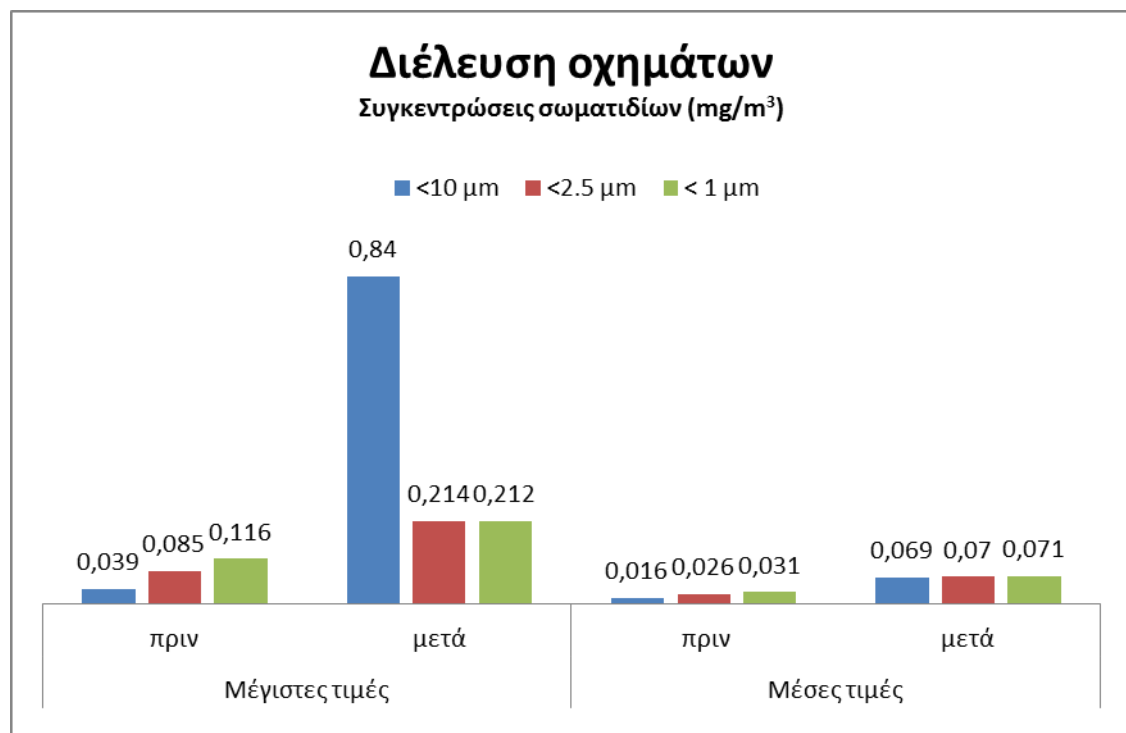
Μέγεθος σωματιδίων σε μm	Μέσες τιμές συγκέντρωσης (mg/m^3)		Αύξηση της συγκέντρωσης της σκόνης (mg/m^3)
	Πριν	Μετά	
<10	0,016	0,254	0,238
<2.5	0,019	0,076	0,057
< 1	0,014	0,05	0,036
Κλάσμα σωματιδίων σε μm	Συγκέντρωση της σκόνης ανά κλάσμα (mg/m^3)		Ποσοστό % κ.β. σκόνης που παράχθηκε ανά κλάσμα
2,5 – 10	0,181		82
1 - 2.5	0,021		9
<1	0,02		9



Σχήμα 4.18: Αναλογία των κλασμάτων της σκόνης που παράγει το τριβείο % κ.β. (δεύτερη σειρά μετρήσεων).

4.5.3 Διέλευση οχημάτων

Η μέτρηση συγκεντρώσεων σκόνης από τη διέλευση οχημάτων και συγκεκριμένα φορτηγών οχημάτων που διέρχονται στους χώρους του εργοταξίου παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία εξαιτίας της απόστασης των διερχόμενων οχημάτων από το σημείο της μέτρησης. Σε ενδεχόμενη διέλευση οχήματος σε κοντινή απόσταση μπορεί να παρατηρηθεί αύξηση των καταγραφόμενων τιμών. Η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις αυτές θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη της και αυτή την παράμετρο. Τα συγκριτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.19 όπου παρατηρείται η μέγιστη συγκέντρωση πριν την διέλευση του ανέμου από το χώρο να είναι πολύ υψηλή, γεγονός που ερμηνεύεται όπως αναφέρθηκε από την διέλευση οχήματος κατά το χρονικό διάστημα που ελήφθησαν τα δείγματα σε κοντινή απόσταση.



Σχήμα 4.19: Συγκεντρώσεις των μέσων και μέγιστων τιμών στα κλάσματα PM10, PM2.5 και PM1.0

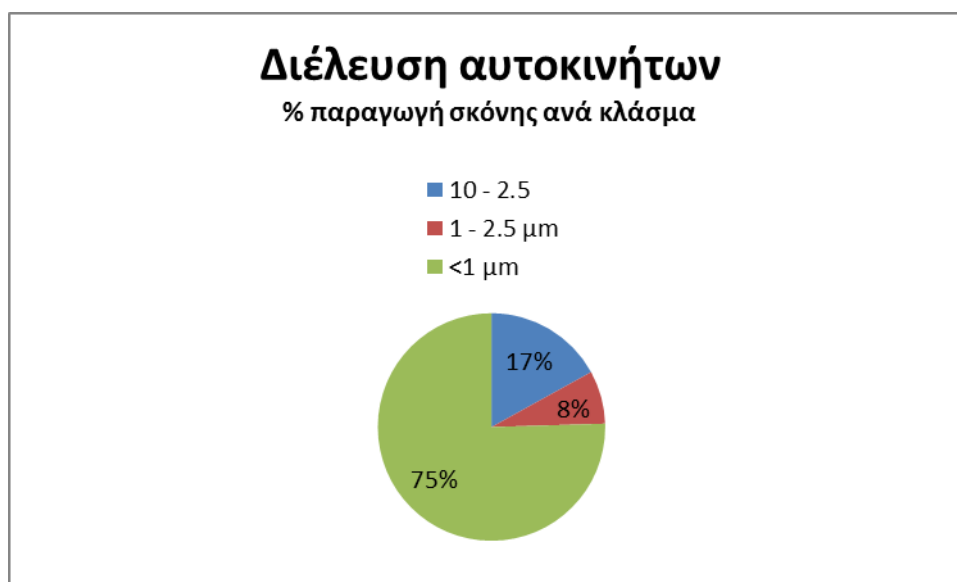
Κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκειμένου να υπολογιστεί η παραγόμενη σκόνη από την διέλευση οχημάτων στο χώρο του εργοταξίου παρατηρείται ότι η μέση τιμή συγκέντρωσης του κλάσματος PM₁₀ πριν και μετά την διέλευση του ανέμου παραμένει σχετικά αμετάβλητη. Η εκτίμηση της περιεκτικότητας % της παραγόμενης σκόνης ανάγεται φαίνεται στο πίνακα 4.10. Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό σκόνης συγκεντρώνεται στο κλάσμα <

1μm υπολογιζόμενο σε 75% περίπου. Το Σχήμα 4.20 παρουσιάζει την αναλογία της παραγόμενης σκόνης.

Πίνακας 4.10: Συγκεντρώσεις σκόνης που σχετίζονται με τη διέλευση οχημάτων

Μέγεθος σωματιδίων σε μm	Μέσες τιμές συγκέντρωσης (mg/m ³)		Αύξηση της συγκέντρωσης της σκόνης (mg/m ³)
	Πριν*	Μετά	
<10	0,039	0,059	0,053
<2,5	0,019	0,07	0,044
< 1	0,03	0,071	0,04
Κλάσμα σωματιδίων σε μm	Συγκέντρωση σκόνης ανά κλάσμα (mg/m ³)		Ποσοστό % κ.β. της σκόνης που παράχθηκε ανά κλάσμα
2,5 – 10	0,053		17
1 - 2,5	0,044		8
<1	0,04		75

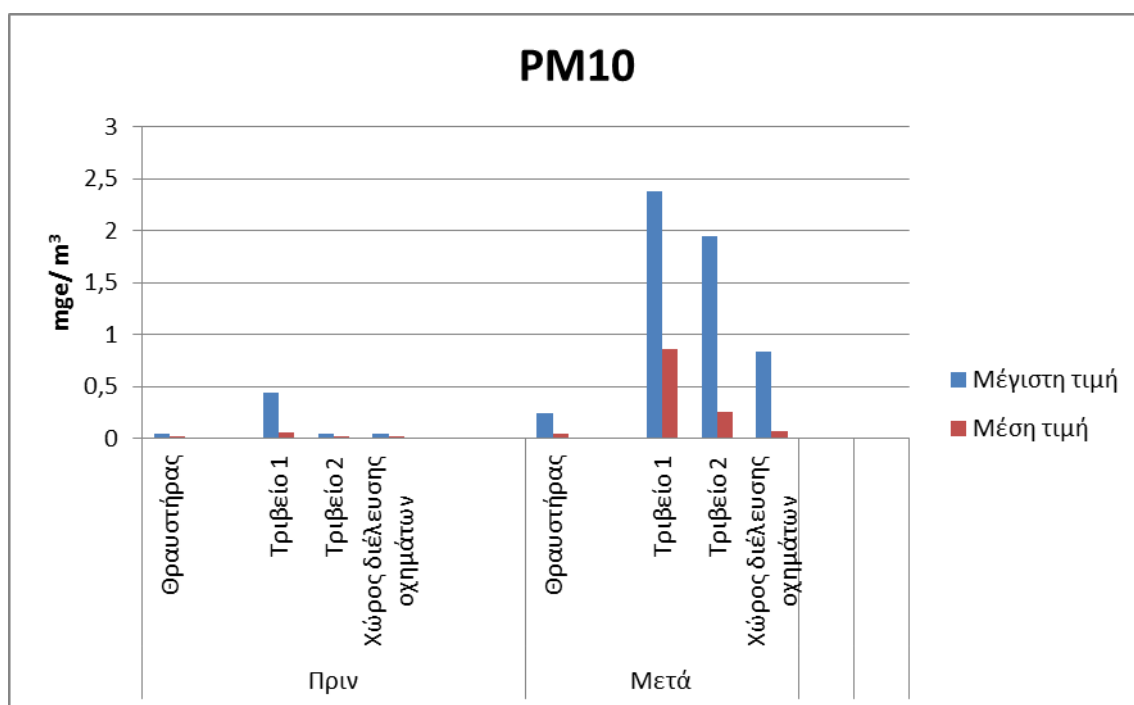
*Λόγω συνεχούς μεταβολής της κατεύθυνσης του ανέμου οι τιμές της συγκέντρωσης της σκόνης στον καθαρό αέρα ελήφθησαν ίδιες με εκείνες που μετρήθηκαν στο τριβείο.



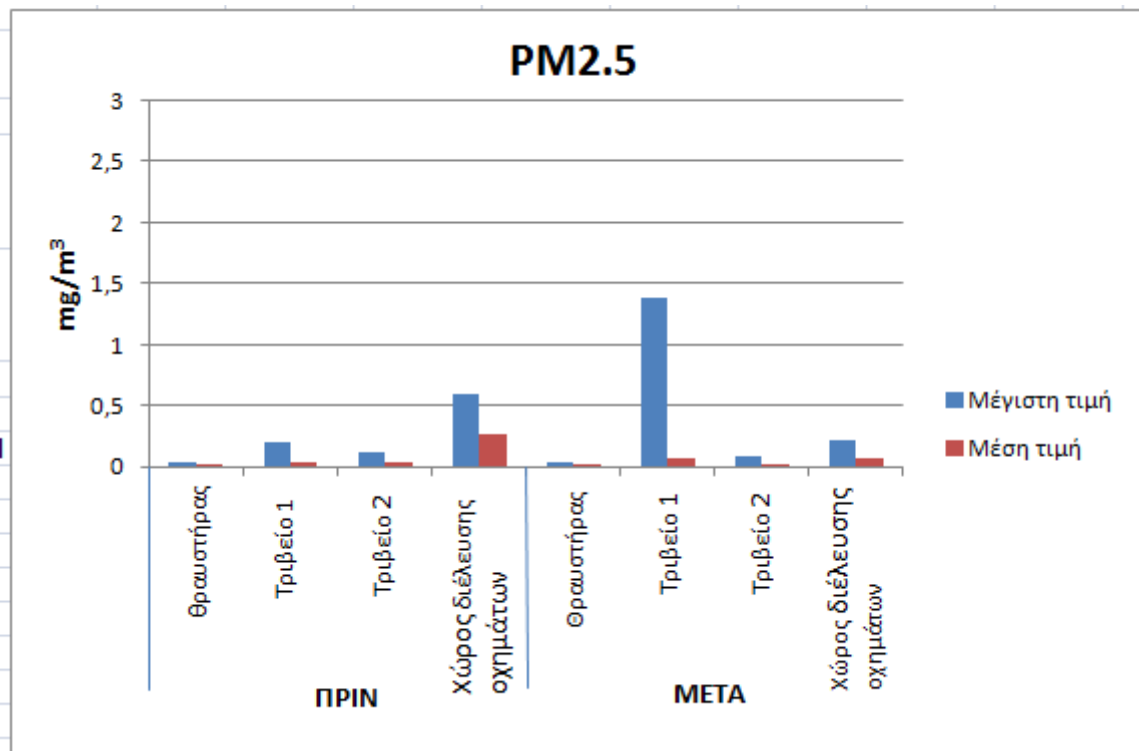
Σχήμα 4.20: Αναλογία κλασμάτων σκόνης που παράγεται κατά την διέλευση οχημάτων.

4.5.4 Κλάσματα σκόνης ανά πηγή εκπομπής

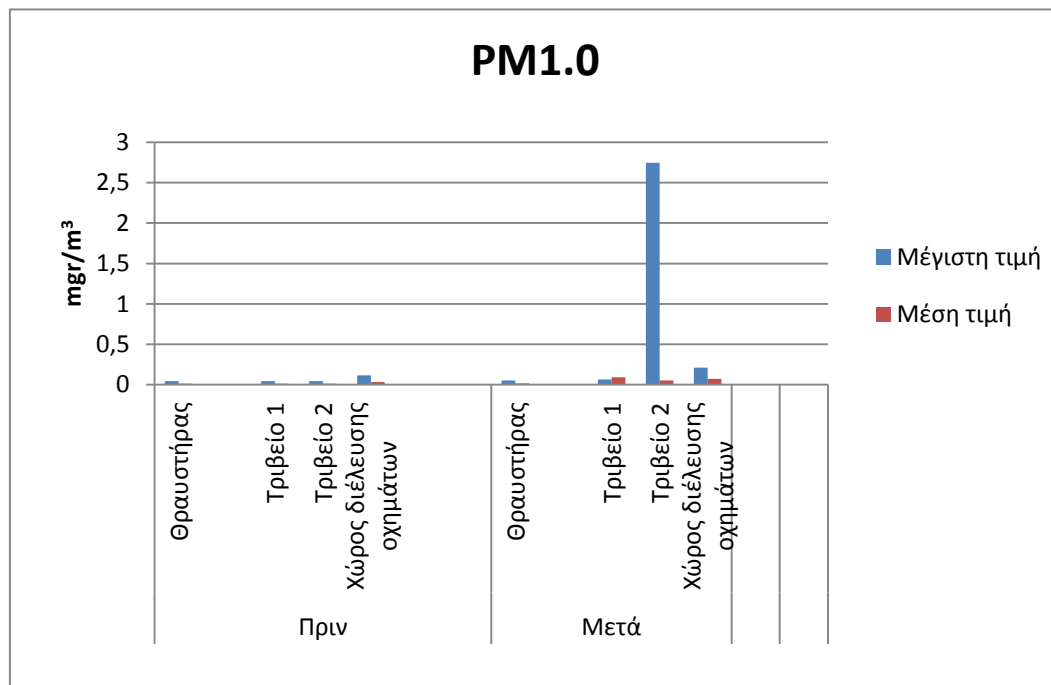
Στη συνέχεια οι ίδιες μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω χωρίστηκαν με βάση τα κλάσματα σκόνης (PM10, PM2.5, PM1.0) για κάθε πηγή εκπομπής και απεικονίστηκαν σε κατάλληλα διαγράμματα (Σχήματα 4.21-4.23). Σκοπός της επεξεργασίας αυτής ήταν να κατανοηθεί ποια κλάσματα σκόνης δημιουργούνται από κάθε πηγή και ποια είναι τα κλάσματα σκόνης που επικρατούν τελικά στο χώρο του εργοταξίου. Οι πληροφορίες αυτές είναι χρήσιμες για να μπορέσουμε να προτείνουμε τα κατάλληλα μέτρα προστασίας.



Σχήμα 4.21: Συγκριτικό διάγραμμα μέσων και μέγιστων τιμών σε θέση μέτρησης πριν και μετά από όλα τα μηχανήματα με το φίλτρο 10μm (PM10).



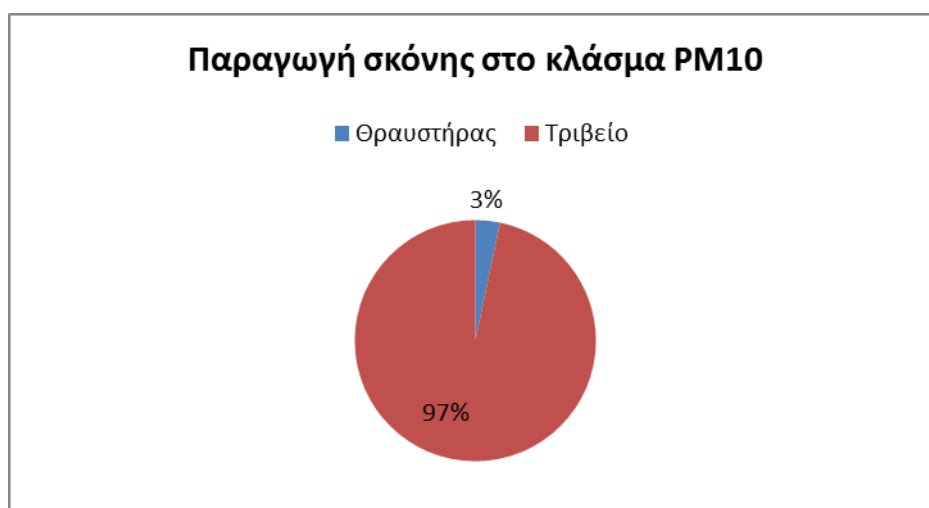
Σχήμα 4.22: Συγκριτικό διάγραμμα μέσων και μέγιστων τιμών σε θέση μέτρησης πριν και μετά από όλα τα μηχανήματα με το φίλτρο 2.5μm (PM2.5).



Σχήμα 4.23: Συγκριτικό διάγραμμα μέσων και μέγιστων τιμών σε θέση μέτρησης πριν και μετά από όλα τα μηχανήματα με το φίλτρο 1.0μm (PM1.0).

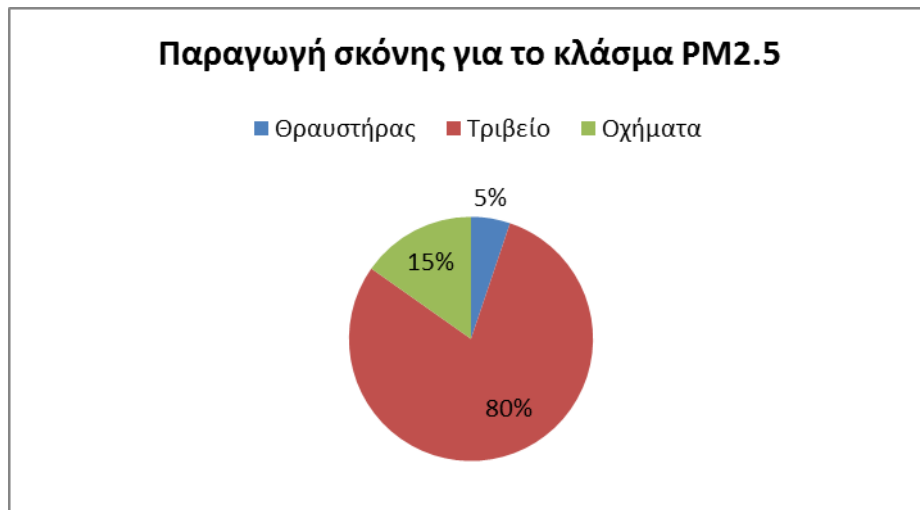
Από τα σχήματα 4.21-4.23 φαίνεται, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι οι τιμές πριν την διέλευση του ανέμου είναι σε φυσιολογικά πλαίσια (καθαρός αέρας). Εκτός από μερικά σημεία που υπάρχουν αυξήσεις οι οποίες όπως έχει επεξηγηθεί και παραπάνω μπορεί να οφείλονται σε απότομη αύξηση της έντασης του ανέμου ή σε μη έγκυρη μέτρηση λόγω διερχόμενου οχήματος σε μικρή απόσταση ($< 10 \mu$).

Ειδικότερη επεξεργασία των μετρήσεων για το κλάσμα PM_{10} οδηγεί στο Σχήμα 4.24. Σ' αυτή την περίπτωση ομαδοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το κλάσμα PM_{10} σε συνθήκες λειτουργίας του τριβείου (ελήφθησαν οι μετρήσεις της πρώτης σειράς, δηλαδή τριβείο_1) και του θραυστήρα προκειμένου να υπολογιστεί η αναλογία της σκόνης που παράγεται σε κάθε μηχανήμα. Στο κλάσμα PM_{10} ($< 10 \mu m$) το τριβείο φαίνεται να επιβαρύνει πολύ περισσότερο από τον θραυστήρα, φτάνοντας το 97% του συνολικού κλάσματος να προέρχεται από το τριβείο.



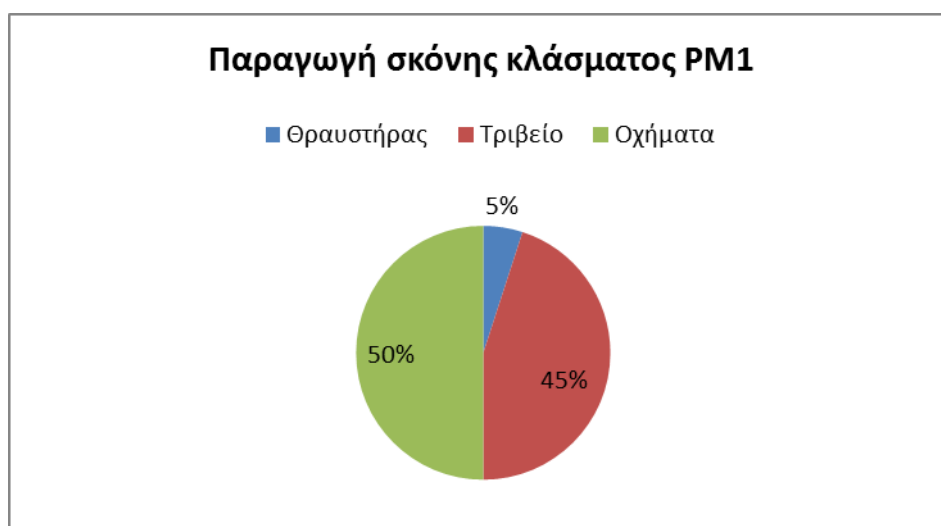
Σχήμα 4.24: Προέλευση κλάσματος PM_{10} κατά την λειτουργία θραυστήρα και τριβείου.

Ανάλογη επεξεργασία έγινε για την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας του εργοταξίου στο κλάσμα $PM_{2.5}$ και την προέλευση του. Σε αυτό το κλάσμα ελήφθησαν και τα δεδομένα από τις μετρήσεις της διέλευσης των χωματουργικών καθώς όπως έχει αναφερθεί κρίνονται αξιόπιστα. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.25 και φαίνεται πως η προέλευση σκόνης $PM_{2.5}$ οφείλεται κατά κύριο λόγο στο τριβείο φτάνοντας ποσοστό 80%.



Σχήμα 4.25: Προέλευση κλάσματος PM_{2.5} κατά την λειτουργία θραυστήρα, τριβείου και διέλευσης οχημάτων.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η επεξεργασία για την προέλευση της σκόνης κλάσματος PM₁ στο χώρο του εργοταξίου. Το αντίστοιχο διάγραμμα (Σχήμα 4.26) δείχνει την σημαντική αύξηση της προέλευσης αυτού το κλάσματος από την διέλευση οχημάτων. Η ανασήκωση της σκόνης και ειδικότερα των πολύ μικρών σωματιδίων κατά τη διέλευση χωματουργικών οχημάτων είναι η πιθανότερη αιτία για την μεταβολή αυτή στην αναλογία. Σημαντικό ποσοστό καταλαμβάνει και το τριβείο στη τροφοδότηση της ατμόσφαιρας με κλάσμα PM₁, φτάνοντας το 45% όταν το αντίστοιχο ποσοστό για τα χωματουργικά οχήματα είναι 50%.



Σχήμα 4.26: Προέλευση κλάσματος PM₁ κατά τη λειτουργία θραυστήρα, τριβείου και διέλευσης οχημάτων.

Συνολικά από την επεξεργασία των μετρήσεων που έγιναν για κάθε κλάσμα προέκυψε ότι οι μεγαλύτερες τιμές μετρήθηκαν κατά τη λειτουργία του τριβείου και τις δύο φορές. Στο τριβείο οφείλεται σε μεγαλύτερο ποσοστό η ύπαρξη κλασμάτων PM₁₀ και PM_{2.5} στην ατμόσφαιρα του εργοταξίου με τα αντίστοιχα ποσοστά του θραυστήρα να είναι συγκριτικά χαμηλότερα. Με βάση τα παραπάνω φαίνεται ότι η λειτουργία του τριβείου επιβαρύνει σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό με σκόνη τον εργασιακό χώρο σε σχέση με τις άλλες διαδικασίες που μελετήθηκαν. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο αφού το τριβείο κατά την παραγωγή της λατομικής άμμου, που είναι το πιο λεπτόκοκκο αδρανές, παράγει ταυτόχρονα μεγάλη ποσότητα υπερλεπτομερών αερομεταφερόμενων σωματιδίων.

4.5.5 Εκτίμηση εκπομπών σκόνης ανά μηχανήμα

Για την εκτίμηση της παραγόμενης αιωρούμενης σκόνης χρησιμοποιούνται συντελεστές εκπομπής, όπως π.χ. οι συντελεστές AP-42 της US Environmental Protection Agency (USEPA) (<http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>). Η USEPA παρέχει συντελεστές εκπομπών για ένα πολύ μεγάλο αριθμό πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης, μεταξύ των οποίων και για την εξορυκτική βιομηχανία. Η 5^η έκδοση των συντελεστών AP-42 εκδόθηκε τον Ιανουάριο του 1995 και έκτοτε ενημερώνονται με βάση νέες έρευνες στον τομέα.

Παρακάτω θα υπολογιστούν οι ετήσιες εκπομπές σκόνης για κάθε πηγή. Οι πηγές που θα εξεταστούν είναι ο θραυστήρας και το τριβείο διότι υπάρχουν τα απαιτούμενα δεδομένα για τα μηχανήματα αυτά. Λαμβάνεται επίσης υπόψη ότι στο εργοτάξιο υπάρχει και λειτουργεί υγρό σύστημα καταστολής σκόνης (διαβροχή και ψεκασμός με νερό).

Οι ετήσιες εκπομπές μιας μονάδας ή ενός συγκροτήματος μιας εγκατάστασης υπολογίζονται από τον τύπο 4.1:

$$E \text{ (kg/y)} = [A \times OH] \times EF \times [(1 - CE) / 100] \quad (4.1)$$

Όπου:

E = συνολικές εκπομπές σκόνης σε kg/έτος

A = Παραγωγική ικανότητα μονάδας σε t/h

OH = ώρες λειτουργίας ανά έτος

EF = συντελεστής εκπομπής σκόνης σε kg/t, που εκφράζει την ποσότητα της σκόνης που απελευθερώνεται ανά τόνο υλικού που επεξεργάζεται

CE = συντελεστής που εκφράζει το ποσοστό των ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα αφού λάβουμε υπόψη τα συνήθως εφαρμοζόμενα μέτρα πρόληψης και περιορισμού

Στην βιβλιογραφία (National Pollutant Inventory, November 1999) οι συνήθεις συντελεστές εκπομπής σωματιδίων για τις περιπτώσεις της πρωτογενούς θραύσης (θραυστήρας) και της τριτογενούς (τριβείο) βρέθηκαν:

$$EF_{\text{θραυστήρας}} = 0.004 \text{ kg/t}$$

$$EF_{\text{τριβείο}} = 0.01 \text{ kg/t}$$

Ο ρυθμός παραγωγής του θραυστήρα και του τριβείου υπολογίστηκαν με βάση τα δεδομένα λειτουργίας του εργοταξίου και τα αποτελέσματα τους εμφανίζονται στο πίνακα 4.11 λαμβάνοντας υπόψη ότι η πυκνότητα του ασβεστόλιθου που χρησιμοποιείται είναι 2600 kg/m^3 .

Πίνακας 4.11: Ημερήσια παραγωγή κάθε μηχανήματος

Μηχάνημα	Παραγωγή (m ³ /d)	Παραγωγή (t/d)
Θραυστήρας	160	416
Τριβείο	360	936

Με βάση τη σχέση 4.1 του υπολογισμού των συνολικών εκπομπών μπορεί να γίνει εκτίμηση των εκπομπών σωματιδίων PM₁₀ για το θραυστήρα και το τριβείο σε ετήσια βάση, όπως παρακάτω:

Θραυστήρας:

$A = 160 \text{ m}^3/\text{d} = 160 \times 2.6 \text{ t/m}^3 = 416 \text{ t/d} = 52 \text{ t/h}$ για 8 ώρες λειτουργίας εντός της ημέρας

OH=8x365 για καθημερινή λειτουργία

CE = 0.2 (αποδοτικότητα των μέτρων περιορισμού της σκόνης στο εργοτάξιο= 80%)

$$E_{\text{θραυστήρας}} = 52 \text{ t/d} \times (8 \times 365) \times 0.004 \text{ kg/t} \times 0.2 = 121, 47 \text{ kg/έτος}$$

Τριβείο:

$A = 360 \text{ m}^3/\text{d} = 360 \times 2.6 \text{ t/m}^3 = 936 \text{ t/d} = 117 \text{ t/h}$ για 8 ώρες λειτουργίας εντός της ημέρας

$OH = 8 \times 365$

$CE = 0.2$

$E_{\text{τριβείο}} = 117 \text{ t/d} \times (8 \times 365) \times 0.01 \text{ kg/t} \times 0.2 = 638.28 \text{ kg/έτος}$

Επιπλέον επεξεργασία έγινε και σε σχέση με τα μετεωρολογικά δεδομένα, αφού διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην διασπορά των αιωρούμενων σωματιδίων.

Στο πίνακα 4.12 δίνονται τα μηνιαία μετεωρολογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής που βρίσκεται το μελετούμενο εργοτάξιο. Τα στοιχεία πάρθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται στο Αγρίνιο.

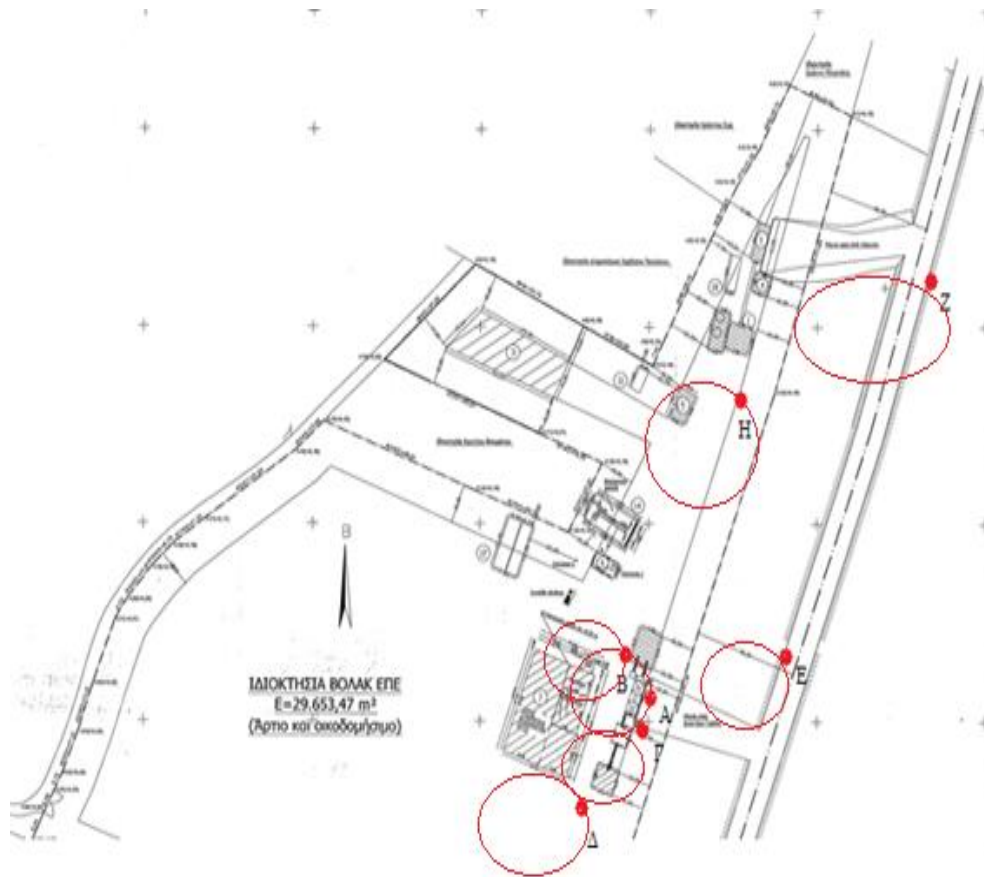
Πίνακας 4.12: Μετεωρολογικά στοιχεία σε μηνιαία βάση

Μήνες	Υγρασία (Rh %)	Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C)	Κατεύθυνση Ανέμου
Ιαν	69,1	2,6	8,3	BA
Φεβ	67,4	3,2	9,2	BA
Μαρ	67,1	3,64	11,5	BA
Απρ	66,4	3,83	15,2	BA
Μαϊ	64,5	1,53	20,4	BA
Ιουν	61,9	3,47	24,8	NΔ
Ιουλ	51,8	3,7	27,2	NΔ
Αυγ	59,3	3,55	27	BA
Σεπ	63	3,19	23	AB
Οκτ	66,9	3,2	18	BA
Νοεμ	70,9	3,08	13,2	AB
Δεκ	71,2	3,67	9,6	BA

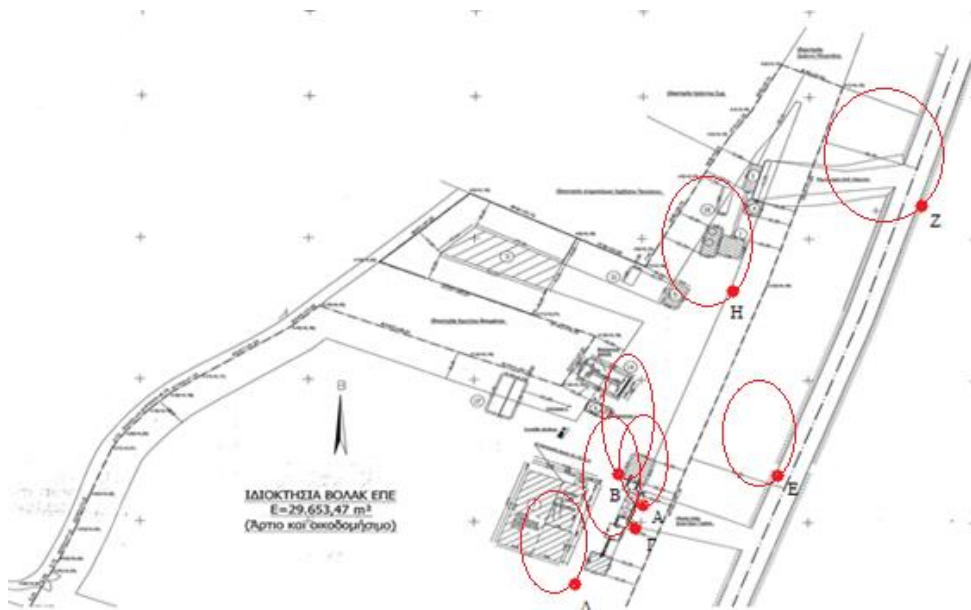
BA= Βορειοανατολικοί άνεμοι, NΔ=Νοτιοδυτικοί άνεμοι, AB=Ανατολικοί-βόρειοι άνεμοι

Οι άνεμοι που επικρατούν στην περιοχή με βάση τα στοιχεία του πίνακα 4.12 είναι: το 60% του χρόνου οι BA, το 20% οι NΔ και το 20% οι AB. Στη περιοχή που βρίσκεται η μονάδα επικρατούν BA και NΔ άνεμοι χαμηλής έως μέσης ταχύτητας. Με βάση τη διαπίστωση αυτή εξετάστηκαν δυο σενάρια όσον αφορά την επιβάρυνση του εργασιακού χώρου από τη διασπορά της σκόνης. Στο πρώτο σενάριο θεωρείται ότι το συγκρότημα λειτουργεί με την παρουσία ανέμων BA

κατεύθυνσης και στο δεύτερο με παρουσία ανέμων ΝΑ κατεύθυνσης (σχήμα 4.27 και 4.28). Για κάθε περίπτωση εξετάζονται οι θέσεις εργασίας που επιβαρύνονται περισσότερο από την παρουσία της σκόνης.



Σχήμα 4.27: Ενδεικτική απεικόνιση των περιοχών που επιβαρύνονται περισσότερο με σκόνη όταν οι επικρατούντες άνεμοι είναι βορειοανατολικοί (ΒΑ))(Κλίμακα 1:500)



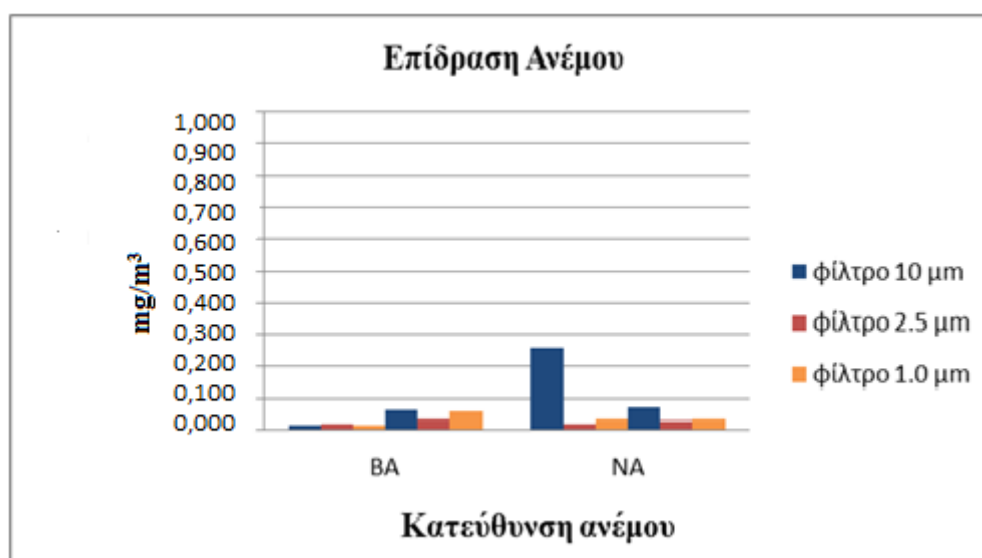
Σχήμα 4.28: Ενδεικτική απεικόνιση των περιοχών που επιβαρύνονται περισσότερο με σκόνη όταν οι επικρατούντες άνεμοι είναι νοτιοδυτικοί (ΝΔ). (Κλίμακα 1:500)

Το επίπεδο έδρασης του εργοταξίου σε σχέση με τον υπόλοιπο περιβάλλοντα χώρο είναι σε διαφορετικές στάθμες. Επίσης το εργοτάξιο από την ανατολική και από μέρος της νότιας πλευράς του, περιβάλλεται από ανάχωμα. Στις μετρήσεις η κατεύθυνση του ανέμου ήταν ΒΑ ή ΝΔ, με αποτέλεσμα τη συμβολή τους στην αιώρηση και διασπορά της σκόνης. Με βάση το πρώτο σενάριο συμπεραίνεται ότι ο ΒΑ άνεμος, λόγω του αναχώματος δεν επηρεάζει τόσο τις πηγές εκπομπής σκόνης, διότι βρίσκονται χαμηλότερα από το επίπεδο του ΒΑ ανέμου, όμως μια πιθανή ανασήκωση αιωρούμενων σωματιδίων θα υφίσταται. Επίσης στο συγκεκριμένο χώρο υπάρχουν οι χώροι στάθμευσης των οχημάτων, άρα δεν αποτελούν σημαντική πηγή επικινδυνότητας. Ο ΝΔ άνεμος επηρεάζει άμεσα τις πηγές και αυξάνει την επικινδυνότητα στα σημεία μετά την διέλευσή του, παρόλο που στα σημεία αυτά δεν υπάρχουν σταθερές θέσεις εργασίας.

Κατά την περίοδο των μετρήσεων επικρατούσαν αρκετά υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα τη ξήρανση του υλικού και την εύκολη ανασήκωσή του. Παρακάτω επισυνάπτονται πίνακες όπου συγκρίνονται οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων με την κατεύθυνση του ανέμου πριν και μετά τα μηχανήματα και σε κάθε κλάσμα PM10, PM2.5, PM1.0. Λαμβάνονται οι μέσες τιμές για κάθε περίπτωση ώστε να είναι πιο αντιπροσωπευτικές:

Πίνακας 4.13: Μέσες τιμές συγκεντρώσεων (mg/m³)σε θέση μέτρησης πριν τα μηχανήματα.

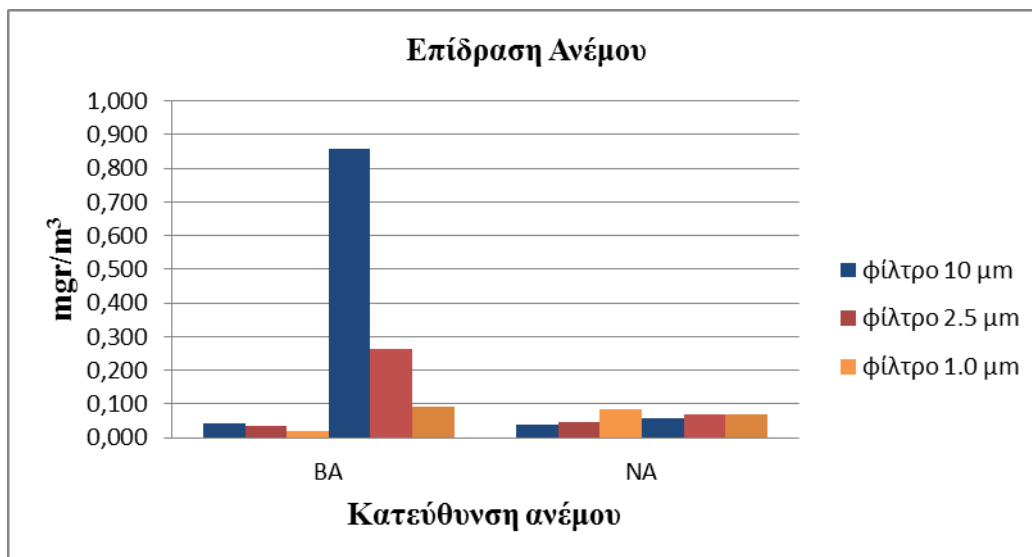
Πηγή	PM10	PM 2.5	PM 1.0	Κατεύθυνση ανέμου
Θραυστήρας	0,016	0,02	0,014	BA
τριβείο_1	0,06	0,033	0,057	BA
τριβείο_2	0,254	0,019	0,03	NA
διέλευση χωματουργικών	0,069	0,026	0,031	NA



Σχήμα 4.29: Σύγκριση συγκεντρώσεων με την κατεύθυνση του ανέμου.

Πίνακας 4.14: Μέσες τιμές συγκεντρώσεων(mg/m³)σε θέση μέτρησης μετά τα μηχανήματα.

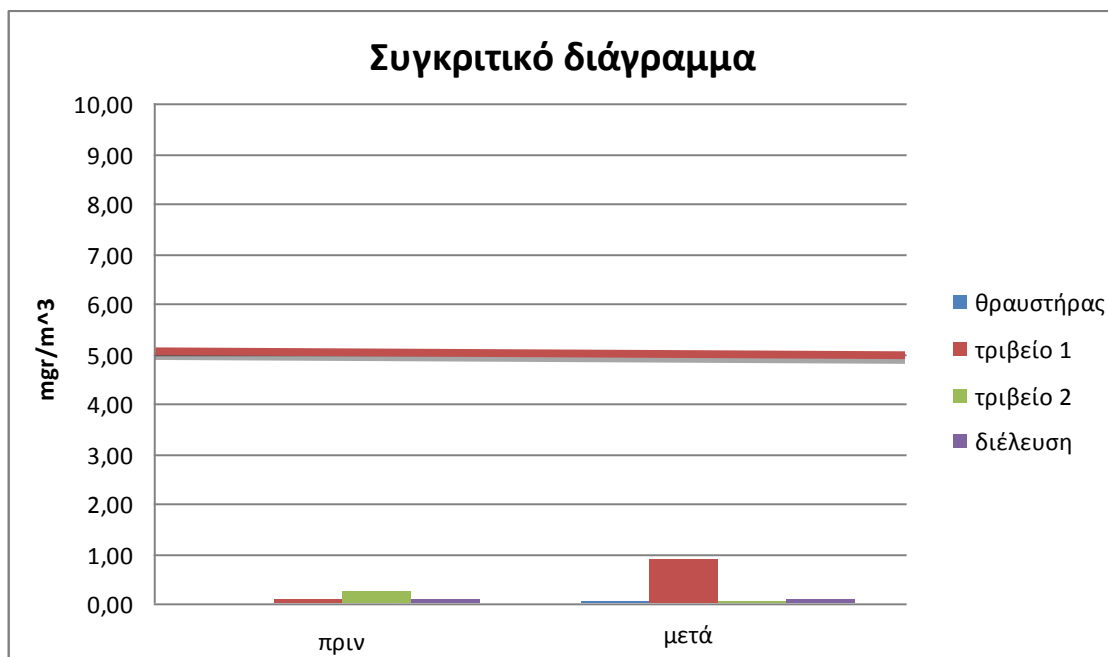
Πηγή	PM10	PM 2.5	PM 1.0	Κατεύθυνση ανέμου
Θραυστήρας	0,043	0,035	0,018	BA
Τριβείο_1	0,859	0,263	0,093	BA
Τριβείο_2	0,039	0,046	0,086	NA
Διέλευση χωματουργικών	0,059	0,070	0,071	NA



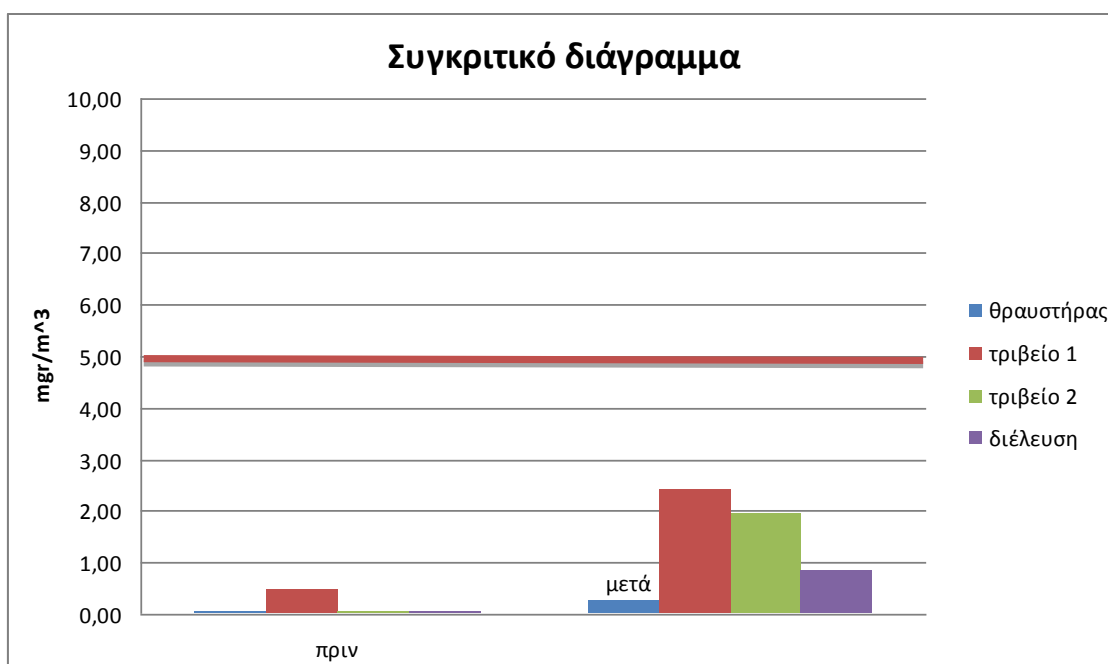
Σχήμα 4.30: Σύγκριση συγκεντρώσεων με την κατεύθυνση του ανέμου.

Βάσει της σύγκρισης των σχημάτων 4.29 και 4.30, τα μεγαλύτερα ποσοστά συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων παρατηρούνται στο τριβείο και στις δύο φορές μέτρησης. Αυτό οφείλεται στο ότι η κοκκομετρία του υλικού που εξάγεται από το μηχάνημα είναι πολύ μικρή οπότε εύκολα αναστηκόνεται από τον άνεμο ανεξαρτήτως κατεύθυνσης. Επίσης μεγάλη επίδραση ασκεί στην διασπορά της σκόνης, η ένταση του ανέμου κατά την διέλευση των χωματουργικών αυτοκινήτων.

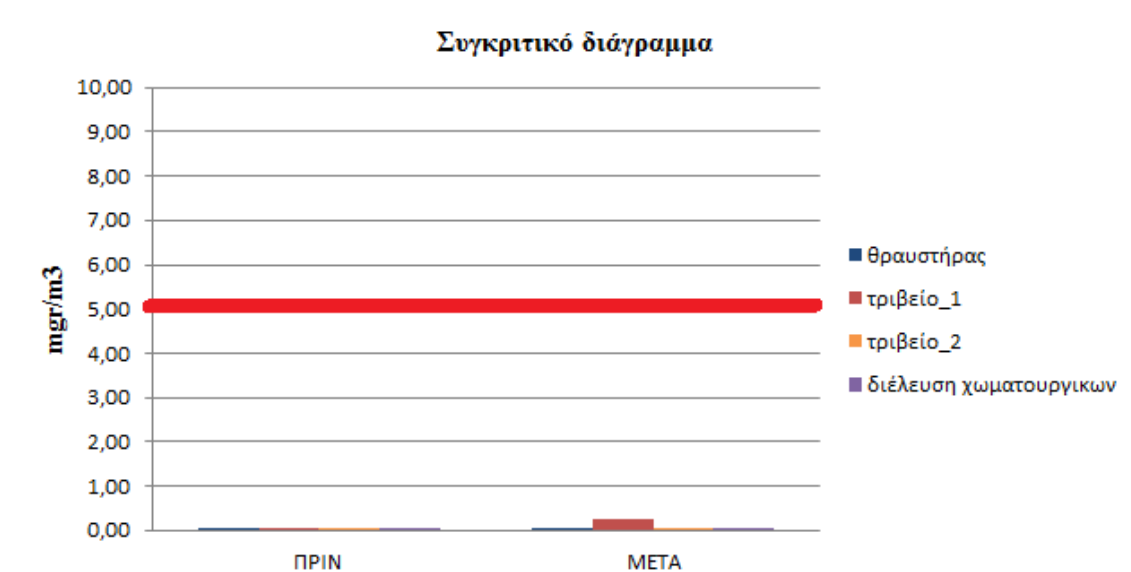
Σύμφωνα με τον Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ) στο βιομηχανικό κλάδο για ασβεστολιθικά υλικά, το εισπνεύσιμο κλάσμα πρέπει να κυμαίνεται σε συγκέντρωση κάτω των 10 mg/m³ ενώ το αναπνεύσιμο κάτω των 5 mg/m³. Παρακάτω παρατίθενται διαγράμματα για την συγκεκριμένη σύγκριση.



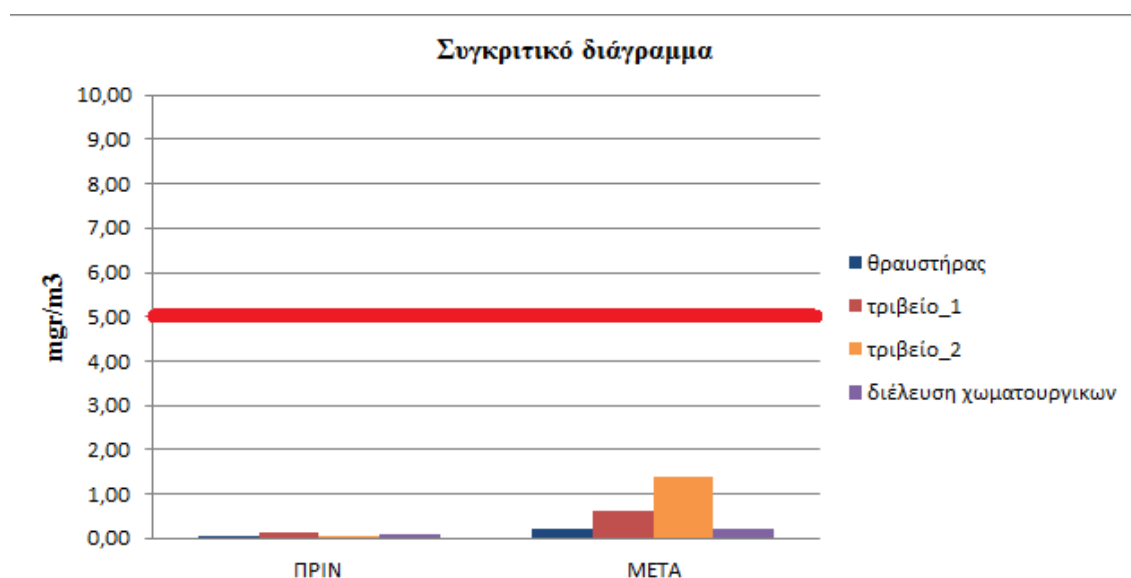
Σχήμα 4.31: Σύγκριση μέσων τιμών των συγκεντρώσεων (<10μm) με το νομοθετικό όριο.



Σχήμα 4.32: Σύγκριση μέγιστων τιμών συγκεντρώσεων (<10μm) με το νομοθετικό όριο.



Σχήμα 4.33: Σύγκριση μεσαίων τιμών συγκεντρώσεων των PM_{2,5} (<2.5μm) με το νομοθετικό όριο.



Σχήμα 4.34: Σύγκριση μέγιστων τιμών συγκεντρώσεων των PM_{2,5} (<2.5μm) με το νομοθετικό όριο

Παρατηρείται πως όλες οι συγκεντρώσεις που λήφθηκαν ομόρροπα και αντίρροπα του ανέμου για κάθε πηγή εκπομπής σκόνης, βρίσκονται όλες μέσα στα όρια που ορίζει η νομοθεσία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ο έλεγχος της σκόνης σε εργοτάξιο παραγωγής αδρανών υλικών για σκυροδέματα και ασφαλτομίγματα οδοποιίας. Από την σύγκριση των μετρήσεων των διαφορετικών πηγών εκπομπής σκόνης (θραυστήρας, τριβείο, μεταφορά με χωματουργικά αυτοκίνητα) και τη συσχέτιση συσχέτισή τους με το ρυθμό παραγωγής και τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Όλες οι πηγές εκπομπής σκόνης που μελετήθηκαν εκπέμπουν σχετικά μικρές ποσότητες σκόνης (PM10). Οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν τόσο οι μέσες όσο και οι μέγιστες είναι αρκετά κάτω από το όριο των 5 και 10 mg/m³ που έχουν τεθεί τον ΚΜΛΕ για αδρανείς σκόνες. Ακόμη και η ταυτόχρονη λειτουργία όλων των μηχανημάτων (θραυστήρας, τριβεία, χωματουργικά αυτοκίνητα) δεν φαίνεται να δίνει συγκεντρώσεις σκόνη που να υπερβαίνουν τα όρια.
- Σε όλο το εργοτάξιο η σκόνη προέρχεται από το ίδιο υλικό, συνεπώς έχει τα ίδια φυσικά χαρακτηριστικά και συνεπώς τα ίδια χαρακτηριστικά διασποράς στην ατμόσφαιρα.
- Από την σύγκριση των μετρηθέντων τιμών προέκυψε ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σκόνης και στα τρία κλάσματα (PM10, PM2.5 και PM1.0) παρατηρούνται κατά την λειτουργία του τριβείου.
- Παρατηρήθηκε ότι οι συγκεντρώσεις σκόνης επηρεάζονται από την κατεύθυνση και ταχύτητα αφού λόγω παράσυρσης-ανασήκωσης σκόνης που έχει επικαθήσει στο χώρο του εργοταξίου αυξάνονται οι μετρούμενες τιμές.
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ένας επιπλέον παράγοντας που συμβάλει στην δημιουργία σκόνης. Το ξηρό υλικό που συσσωρεύεται στο έδαφος μπορεί να ανασηκώνεται ευκολότερα με αποτέλεσμα την ανακυκλοφορία της σκόνης επιβαρύνοντας περιοδικά και με την φορά του ανέμου την ατμόσφαιρα σε σκόνη. Η θερμοκρασία συμβάλλει στην απώλεια υγρασίας στον χώρο και κατά συνέπεια στις ποσότητες σκόνης που έχουν επικαθήσει στο έδαφος. Αποτέλεσμα είναι η ξηρή σκόνη να συμπαρασύρεται ευκολότερα και να επαναιωρείται στην ατμόσφαιρα.

- Ο ρυθμός παραγωγής του κάθε μηχανήματος στο χώρο του εργοταξίου, επηρεάζει την συνολική εκπομπή σκόνης όπως υπολογίστηκε για κάθε μηχάνημα μέσω των ειδικών συντελεστών εκπομπής. Αυξημένη παραγωγικότητα αντιστοιχεί σε αυξημένες συνολικές εκπομπές ανά μηχάνημα. Το τριβείο παραγωγής άμμου αποτελεί την κυριότερη πηγή εκπομπής σκόνης με βάση τις εκτιμηθείσες συνολικές ετήσιες εκπομπές.

5.2 Προτάσεις - Μέτρα αντιμετώπισης

Παρακάτω παρατίθενται προτάσεις και μέτρα αντιμετώπισης που στοχεύουν στη μείωση της συγκέντρωσης της εισπνεύσιμης και αναπνεύσιμης σκόνης και τα οποία για να είναι αποτελεσματικά, πρέπει να συσχετίζονται με το δυναμικό εκπομπής, την γένεση, τις πηγές εκπομπής, την αιώρηση, τη μεταφορά και την απόθεση.

- Κατά την παραγωγική διαδικασία προτείνεται να τοποθετηθούν συστήματα εκτόξευσης νερού (μπεκ) στον τροφοδότη των μηχανημάτων με κύριο στόχο την μείωση της εκπομπής της σκόνης.
- Διαβροχή σε καθημερινή βάση των χωμάτινων δρόμων εντός του εργοταξίου και των πλατειών φόρτωσης του υλικού.
- Προτείνεται περιμετρικό κλείσιμο του τριβείου και του θραυστήρα με μεταλλικά πλαίσια ώστε να αποβεί αποτελεσματικότερος ο περιορισμός της εκπομπής της σκόνης στο χώρο του εργοταξίου.
- Να πραγματοποιηθεί τοποθέτηση δειγματοληπτών και συνεχής παρακολούθηση των επιπέδων ρύπανσης.
- Δενδροφύτευση βόρεια, δυτικά και ανατολικά της δραστηριότητας, γεγονός που θα αποτρέπει σε μεγάλο βαθμό την διασπορά της σκόνης στις γύρω γεωργικές εκτάσεις.
- Συνιστάται η ασφαλόστρωση ή η προσθήκη χαλικιών στους κύριους δρόμους διέλευσης των χωματουργικών οχημάτων.
- Προτείνεται η μείωση της ταχύτητας κίνησης των οχημάτων. Αναφορικά επισημαίνεται ότι η μείωση κατά 20% της μέσης ταχύτητας των οχημάτων μειώνει αντίστοιχα την εκπομπή σκόνης κατά 20%.
- Συνιστάται κατά την φόρτωση, το υλικό να μην υπερβαίνει το ύψος του

κάδου του οχήματος και την τοποθέτηση προστατευτικού καλύμματος για την αποφυγή αιώρησης κατά την μεταφορά.

- Προσεκτικός χειρισμός κατά την απόθεση, ήτοι αργή κένωση κάδου μηχανήματος και πτώση των υλικών από μικρό ύψος.
- Διατήρηση υγρασίας του υλικού που βρίσκεται στους χώρους αποθήκευσης με διαβροχή νερού.
- Μείωση της διασποράς από τον αέρα με περίφραξη ή κάλυψη των μη χρησιμοποιούμενων σωρών με τα απαιτούμενα μέσα.
- Να παρέχεται η δυνατότητα χρήσης προστατευτικού κράνους, γυαλιών, ωτοασπίδων και προστατευτικής μάσκας κατά την παραγωγική διαδικασία στους εργαζόμενους και ειδικά για τους χώρους που έχουν χαρακτηριστεί ως επιβεβαρυμένοι από σκόνη.

Βιβλιογραφία

Διεθνής

- Adams P.J., Seinfeld J.H., Koch D.M., Global concentrations of tropospheric sulphate, nitrate, and ammonium aerosol simulated in a general circulation model. *Journal of Geophysical Research*, 104, p.13791- 13823, 1999.
- Allen, T., Particle Size Measurement. Powder Sampling and Particle Size Measurement, Fifth ed. Chapman & Hall, London, 1997.
- Appleton T., Kingman S., Lowndes I. and Silvester S., The development of a modelling strategy for the simulation of fugitive dust emissions from in-pit quarrying activities, Nottingham Mining and Minerals Centre, School of Chemical, Environmental and Mining Engineering, University of Nottingham, University Park, Nottingham NG7 2RD, UK 16 Feb 2007, p. 60-66.
- Balkau, F., Pollution prevention and abatement guidelines for the mining industry, UNEP IE/PAC, Paris 1993
- Department of Environmental Protection, EU, Minerals Engineering
- Eslinger, M., Controlling fugitive dust emissions with a foam suppression system. *Ceramic Industry* 147 (7), p. 3–8, 1997.
- 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.
- Zhang, X., Chen, W., Ma, C., Zhan, S. Modeling particulate matter emissions during mineral loading process under weak wind simulation, *Science of the Total Environment*, 2013.
- Friedlander, S.K., Smoke, Dust and Haze. Fundamentals of Aerosol Dynamics Second Edition., New York, Oxford, Athens: Oxford University Press, 2000.
- Gibor, M., Dust collection as applied to the mining and allied industry. *Bulk solids handling* 17 (3), p. 397–403, 1997.
- Goldbeck, L.J., Marti, A.D., Dust control at conveyor transfer points:

- containment suppression and collection. *Bulk Solids Handling* 16 (3), p. 367–372, 1996.
- Herrmann, S., Evensen, J., Newly-developed combination products for dust suppression in the storage of bulk materials. *Bulk Solids Handling* 14 (1), p. 109–112, 1997.
 - Hinds, W.C., *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles*, 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, 1999.
 - ISO 1995. Air quality—particle size fraction definitions for health-related sampling, International Organization for Standardization (ISO), Geneva, ISO 7708.
 - ISO, Air quality—particle size fraction definitions for health-related sampling, International Organization for Standardization (ISO), Geneva, ISO 7708, 1995.
 - Li R., Wiedinmyer C., Hannigan M.P., Contrast and correlations between coarse and fine particulate matter in the United States, *Science of the Total Environment*, 456-457, 346-358, 2013.
 - Liu, Q., Katsabanis, P.D., Hazard evaluation of sulphide dust explosions, *Journal of Hazardous Materials* 33, p. 35–49, 1992.
 - Liu, Z., Wypych, P., Cooper, P., Dust generation and air entrainment in bulk materials handling—A Review. *Powder Handling & Processing*, 1999, p. 421–425.
 - Petavratzi E., Kingman S., Lowndes I., *Particulates from mining operations: A review of sources, effects and regulations*, Nottingham Mining and Minerals Centre, School of Chemical, Environmental and Mining Engineering, University of Nottingham, University Park, Nottingham NG72RD, UK, p.1185-1197.
 - Ruzer L., Harley N., *Aerosols Handbook Measurement, Dosimetry and Health Effects*, CRC Press, Florida, 2005.
 - Abdul-Wahab, S.A., Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities, *Ecological Modelling*, 195(3–4), p. 338-348, 2006.
 - SIMRAC 2003, Handbook to reduce the exposure of workers to dust, Members of the Special Interest Group on Dust and Ventilation, Safety in Mines Research Advisory Committee (SIMRAC), South Africa.
 - Soundararajan et al., dust explosions statistics, 1996, p.639-642

- Trade Union Congress, Hazards at work-TUC guide to health and safety, Trade Union Congress, UK, 2001.
- US EPA, National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter, Environmental Protection Agency (EPA), USA, 40 CFR Part 50, 1997.
- World Health Organization, Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust, World Health Organization, Switzerland, 1999.
- Emission Estimation Technique Manual for Mining and Processing of Non-Metallic Minerals, National Pollutant Inventory, November 1999

Ελληνική

- Γεντεκάκης, Ι.Β., Ατμοσφαιρική Ρύπανση. Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές Τεχνολογίες, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2003.
- Δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 1999 (86(I)/1999)
- ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α., Ορυχεία-Μεταλλεία, 'Α έκδοση, Αθήνα, Ιούνιος 2007 p8-12,103-104.
- Μεσσάρης Δ., Μποσδογιάννη Α., Ρώτη Σ. και Κωστοβασίλης Ι., Ειδική Επιστημονική Επιτροπή Περιβαλλοντικής Διαχείρισης Έργων Πολιτικού Μηχανικού Τ.Ε.Ε, Πρόβλημα σκόνης λόγω κατασκευαστικών δραστηριοτήτων, Αθήνα Φεβρουάριος 2005.
- Κανονισμός Μεταλλευτικών και λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ), Αθήνα, 2012.
- Μελάς, Δ. Ατμοσφαιρική Διάχυση και Διασπορά, Θεσσαλονίκη 2007, p. 8-11, p. 35-40.
- Κουϊμτζής Θ., Φυτιανός Κ., Σαμαρά-Κωνσταντίνου Κ., Χημεία Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις University Study Press, 1998.
- Σταμπολιάδης Η., Μηχανική Τεμαχιδίων, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά, 2008, κεφ.9, σελ. 80-116.
- Μανούτσογλου Ε., Γεωλογία Ελλάδος, Χανιά, Μάιος 2007.
- Γαλετάκης Μ., Υγιεινή και Ασφάλεια, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά, Μάρτιος 2010.
- Παπαγεωργίου Κων/νος, Εκτίμηση της προσωπικής έκθεσης υποομάδων πληθυσμού της Αθήνας σε αιωρούμενα σωματίδια συνεισφορά εσωτερικών και εξωτερικών πηγών εκπομπής, ΕΜΠ, Αθήνα 2012

- Μελάς Δ. , Αλεξανδροπούλου Α. , Αμοιρίδης Β. , Κακαρίδου Μ. , Σουλακέλλης Ν. , Ατμοσφαιρική Ρύπανση , Αθηνά 2000.

Ιστοσελίδες

- <http://www.phdtheses.ekt.gr/>
- <http://www.moa.gov.cy/>
- <http://www.oikoen.gr/>
- <http://www.elinyae.gr/>
- www.eur-lex.europa.eu, Δίκαιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 1999, Οδηγία 1999/30/EK, 1996, Οδηγία 1996/62/EK.
- www.meteo.gr/stations, Μετεωρολογικός σταθμός Αγρινίου.
- [προσβάσιμο 10 Φεβρουαρίου 2006].
- <http://www.epa.gov/oar/oaqps/efactors.html>, US EPA 2005b. Introduction to Emission Factors [προσβάσιμο 10.5.2005].