



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΞΟΡΥΞΗ ΛΙΓΝΙΤΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ - ΡΟΥΣΣΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Επιβλέπων: Δαμίγος Δημήτριος
Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΞΟΥΥΞΗ ΛΙΓΝΙΤΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ - ΡΟΥΣΣΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Επιβλέπων: Δαμύγος Δημήτριος
Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις .../.../2012

Δαμύγος Δημήτριος, Επικ. Καθηγητής

Καλιαμπάκος Δημήτριος, Καθηγητής

Μενεγάκη Μαρία, Λέκτορας

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας του, ο άνθρωπος αντλεί πόρους από το φυσικό του περιβάλλον για την επιβίωση και τη βελτίωση του τρόπου ζωής του. Με το πέρας των χρόνων, οι ανάγκες αυτές αυξάνονταν ολοένα και περισσότερο, έχοντας ως αποτέλεσμα τη σταδιακή, αρχικά και τη ραγδαία στη συνέχεια, υποβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος. Οι επιπτώσεις από την υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων, κυρίως για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, έχουν οδηγήσει στην ευαισθητοποίηση της κοινωνίας πάνω σε περιβαλλοντικά θέματα για κάθε τομέα της ανθρωπογενούς δραστηριότητας.

Ένα μείζον περιβαλλοντικό θέμα για την Ελλάδα είναι ο τρόπος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία στηρίζεται κυρίως σε ορυκτές καύσιμες ύλες, και βασικά στο λιγνίτη εξαιτίας της ύπαρξης των πλούσιων κοιτασμάτων στον ελληνικό χώρο. Η χρήση λιγνίτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται ως ιδιαίτερα ρυπογόνα επιλογή, εξαιτίας των επιπτώσεων τόσο κατά την εξόρυξη, όσο και κατά την καύση του.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάζονται οι επιπτώσεις από την εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων κατά την εξόρυξη του λιγνίτη, που αποτελούν τον κύριο αέριο ρύπο κατά τη φάση αυτή. Τα αιωρούμενα σωματίδια, λόγω του πολύ μικρού μεγέθους τους, μεταφέρονται εύκολα σε μεγάλες αποστάσεις και είναι ιδιαίτερα επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία, αλλά και για τα δομικά υλικά και τις καλλιέργειες. Η προσπάθεια αντιμετώπισης ή και αποφυγής των επιπτώσεων αυτών δημιουργούν στους ανθρώπους και την κοινωνία πρόσθετα κόστη. Τα κόστη αυτά καλούνται εξωτερικότητες και η αποτίμησή τους αποτελεί τον κύριο στόχο της εργασίας αυτής.

Στο σημείο αυτό θέλουμε να ευχαριστήσουμε όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τον κ. Δημήτρη Δαμίγο, Επικ. Καθηγητή ΕΜΠ, για την προτροπή του να ασχοληθούμε με το συγκεκριμένο θέμα, την καθοδήγησή του και την άμεση βοήθεια που μας παρείχε. Τον κ. Χρήστο Ρούμπο, Τομεάρχη Σχεδιασμού & Μελετών Ορυχείων της ΔΕΗ Α.Ε., για την πολύτιμη παροχή στοιχείων και την προθυμία του για την υποστήριξη της εν λόγω μελέτης. Την κα Μαρία Μενεγάκη, Λέκτορα του ΕΜΠ για την καίρια βοήθειά της και το Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας και Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής για την υλικοτεχνική υποστήριξη. Τέλος, το Γραφείο Υποστήριξης Ερευνών του ADMS 4 για τις απαραίτητες διευκρινήσεις σε θέματα του λογισμικού.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η αποτίμηση του εξωτερικού κόστους από την εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων κατά την εξόρυξη λιγνίτη. Η μελέτη επικεντρώνεται στις εκπομπές σωματιδίων PM-10 που προκύπτουν από τον πάγιο εξοπλισμό εξόρυξης στο Ορυχείο Νοτίου Πεδίου του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας - Αμύνταιου και στην εκτίμηση της συγκέντρωσής τους στην ευρύτερη περιοχή της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας με τη δημιουργία μοντέλου διασποράς. Στη συνέχεια με κατάλληλες εξισώσεις δόσης - απόκρισης υπολογίζονται οι φυσικές επιπτώσεις, οι οποίες, τελικά, μετατρέπονται σε χρηματικές μονάδες με τη χρήση κατάλληλων τιμών μονάδας.

Στο πλαίσιο της εργασίας περιγράφεται αρχικά η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα με έμφαση στην ορυκτή κάυσιμη ύλη, δηλαδή το λιγνίτη, στην εξόρυξή του και στα ορυχεία που ανήκουν στη ΔΕΗ Α.Ε. Γίνεται λόγος για την αέρια ρύπανση με ξεχωριστή αναφορά στα αιωρούμενα σωματίδια PM-10 και στην υπάρχουσα για τις συγκεντρώσεις τους νομοθεσία. Αναλύονται τα Γκαουσιανά μοντέλα ατμοσφαιρικής διασποράς, στα οποία ανήκει και το χρησιμοποιούμενο λογισμικό ADMS 4 που περιγράφεται αναλυτικότερα. Επίσης, αναπτύσσονται οι βασικές αρχές της οικονομικής θεωρίας που αφορούν στα εξωτερικά κόστη, ώστε να κατανοηθεί η διαδικασία δημιουργίας εξωτερικοτήτων από την εξόρυξη λιγνίτη. Σημαντική αναφορά γίνεται στους συντελεστές εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων, οι οποίοι είναι απαραίτητοι για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων της μελέτης.

Το θεωρητικό και πρακτικό υπόβαθρο των παραπάνω σε συνδυασμό με πρόσθετα στοιχεία που παρουσιάζονται διεξοδικά, οδηγούν στην εύρεση των ζητούμενων αποτελεσμάτων και στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

ABSTRACT

Subject of the diploma thesis is the valuation of external costs from the emission of suspended particulate matter during lignite mining. The study focuses on the emissions resulting from the continuous mining equipment of the South Field Mine of the Lignite Center Ptolemais - Amindeo and the resulting concentration in the wider region of Western Macedonia by means of dispersion modelling. Then, using appropriate dose-response functions the physical impacts are estimated and, finally, physical impacts are converted in monetary units following appropriate unit values.

The study, first, describes the production of electricity in Greece with an emphasis on mineral fuel source, namely lignite, and presents the lignite mining activity of the Greek Power Public Corporation (DEI S.A.). Next, air pollution issues are discussed, emphasizing in particulate matter PM-10 and the relative air quality legislation. The Gaussian atmospheric dispersion models are also presented and the ADMS 4 software used is described in detail. Following, the basic principles of economic theory of externalities are mentioned, to understand the process of estimating the external costs from PM-10 emitted during lignite mining. Furthermore, the emission factors for particulate matter, which are necessary for the calculation of dust concentrations are analyzed.

The theoretical background and practical methods and tools described above, were combined, together with additional data presented in detail in the text, in order to estimate the physical impacts and their cost to the surrounding community and to draw some mostly useful conclusions.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα	1
1.1.1	Ιστορική αναδρομή.....	1
1.1.2	Η σημερινή νέα κατάσταση.....	2
1.2	Δεδομένα του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος.....	3
1.3	Λιγνίτης	6
1.3.1	Ιστορικά στοιχεία.....	6
1.3.2	Περιγραφή	7
1.3.3	Παγκόσμια αγορά λιγνίτη.....	8
1.3.4	Εγχώρια κατάσταση.....	9
1.3.5	Η σημασία του λιγνίτη για την Ελλάδα	11
1.4	Εξόρυξη	12
1.4.1	Ορυχεία.....	12
1.5	Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	15
2	ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ	16
2.1	Ρύπανση του περιβάλλοντος	16
2.2	Πηγές των ρύπων.....	17
2.3	Η ατμόσφαιρα της γης.....	17
2.4	Ρύπανση της ατμόσφαιρας	18
2.5	Αιωρούμενα σωματίδια	19
2.5.1	Πηγές	20
2.5.2	Επιπτώσεις από τις εκπομπές μικροσωματιδίων	21
2.6	Νομοθεσία	24
2.7	Μαθηματικά μοντέλα ατμοσφαιρικής διασποράς.....	27
2.7.1	Τύποι μοντέλων ατμοσφαιρικής διασποράς	28
2.7.2	Σύντομη περιγραφή της δομής ενός μοντέλου ατμοσφαιρικής διασποράς	29
2.8	Γκαουσιανά μοντέλα ατμοσφαιρικής διασποράς	30
2.8.1	Κανονική κατανομή (κατανομή Gauss).....	30
2.8.2	Οι εξισώσεις του Gauss	31
2.8.3	Υπολογισμός των συντελεστών διασποράς σ_y και σ_z	34
2.8.4	Επίδραση του εδάφους στη διασπορά από σημειακή πηγή	35
2.8.5	Επίδραση ανυψωμένης θερμοκρασιακής αναστροφής.....	36
2.8.6	Επίδραση της βαρύτητας στη διασπορά	36
2.8.7	Επίδραση τοπογραφίας στη διασπορά	37
2.8.8	Επίδραση κτιρίων στη διασπορά	37
2.8.9	Ενεργό ύψος εκπομπής	39
2.8.10	Μέγιστες συγκεντρώσεις εδάφους	40
3	ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	43
3.1	Εισαγωγή	43
3.2	Κοινωνικά κόστη και οφέλη.....	43
3.2.1	Τιμές αγοράς, οριακά ιδιωτικά κόστη, οριακά κοινωνικά κόστη και εξωτερικότητες... ..	45
3.3	Εξωτερικότητες	47
3.3.1	Θετικές εξωτερικότητες.....	48

3.3.2	Αρνητικές εξωτερικότητες.....	50
3.3.3	Κρατικές παρεμβάσεις στις εξωτερικότητες.....	53
3.4	Προσέγγιση τρόπου επίδρασης	58
3.4.1	Γενικά	58
3.4.2	Περιγραφή της προσέγγισης τρόπου επίδρασης.....	59
3.4.3	Επιδράσεις	61
3.4.4	Αποτίμηση σε οικονομικούς όρους	62
3.4.5	Αβεβαιότητες και αξιοπιστία.....	63
4	ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ADMS 4	66
4.1	Εισαγωγή	66
4.2	Εισαγωγή δεδομένων στο ADMS 4	67
4.2.1	Setup screen	67
4.2.2	Source screen	69
4.2.3	Meteorology screen.....	71
4.2.4	Background screen.....	73
4.2.5	Grids screen	74
4.2.6	Output screen	75
4.2.7	Παρουσίαση των αποτελεσμάτων	76
5	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ	78
5.1	Γενικά	78
5.2	Αξιολόγηση συντελεστών εκπομπών	79
5.3	Εξίσωση συντελεστών εκπομπών	79
5.4	Πηγές πληροφόρησης.....	80
5.4.1	USEPA (AP-42).....	80
5.4.2	NPi	88
5.4.3	Μελέτη συντελεστών εκπομπής στην Ινδία.....	93
5.4.4	Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος Καναδά	101
6	ΜΕΛΕΤΗ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ.....	103
6.1	Εισαγωγή	103
6.2	Ορυχείο νοτίου πεδίου.....	103
6.2.1	Ανάπτυξη Ορυχείου Νοτίου Πεδίου.....	104
6.2.2	Εξοπλισμός	105
6.2.3	Στοιχεία λειτουργίας πάγιου εξοπλισμού ορυχείου	108
6.3	Περιγραφή περιβάλλουσας περιοχής	110
6.3.1	Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας	110
6.3.2	Νομός Κοζάνης.....	110
6.3.3	Φυσικό περιβάλλον.....	111
6.3.4	Μετεωρολογικά και υδρογραφικά-υδρολογικά στοιχεία.....	113
6.4	Μοντέλο διασποράς σκόνης	114
6.4.1	Δεδομένα εισόδου.....	114
6.4.2	Εκτίμηση των ποσοτήτων της εκλυόμενης σκόνης	121
6.4.3	Διασπορά της σκόνης	123
6.5	Αποτίμηση των επιπτώσεων από τις εκπομπές PM-10	127
6.6	Διερεύνηση των παραμέτρων του μοντέλου διασποράς	131
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	137
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	139

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Αποτελέσματα βασικού μοντέλου διασποράς

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Αποτελέσματα μοντέλων ξηρής / υγρής απόθεσης και τοπογραφίας

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.	Εγκατεστημένη ισχύς σταθμών ΔΕΗ	6
Πίνακας 2.	Χαρακτηριστικά λιγνίτη	8
Πίνακας 3.	Κύριες χώρες παραγωγής λιγνίτη (2004)	9
Πίνακας 4.	Ενεργειακές μονάδες που τροφοδοτούνται με λιγνίτη από το Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου	14
Πίνακας 5.	Σύνθεση ατμοσφαιρικού αέρα.....	17
Πίνακας 6.	Οι πέντε κύριοι ρύποι της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	19
Πίνακας 7.	Κατάταξη των ρύπων	19
Πίνακας 8.	Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από PM-10.....	21
Πίνακας 9.	Οριακές Τιμές για τα PM-10	26
Πίνακας 10.	Ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης για τα PM-10	27
Πίνακας 11.	Σχέσεις για τους συντελεστές διασποράς σ_y και σ_z κατά Briggs.....	34
Πίνακας 12.	Δυνατές επιλογές σύμφωνα με τον τύπο πηγής.....	71
Πίνακας 13.	Δυνατές επιλογές σύμφωνα με τον τύπο ροής του ρύπου.....	71
Πίνακας 14.	Δυνατές επιλογές σύμφωνα με τις μεθόδους μοντελοποίησης	71
Πίνακας 15.	Εξισώσεις συντελεστών εκπομπών για μη ελεγχόμενες υπαίθριες πηγές σκόνης στα ανθρακωρυχεία δυτικής επιφανείας	85
Πίνακας 16.	Τυπικές τιμές για συντελεστές διόρθωσης κατάλληλους για τις εξισώσεις πρόβλεψης των συντελεστών εκπομπών.....	86
Πίνακας 17.	Μη ελεγχόμενοι συντελεστές εκπομπών σωματιδίων για υπαίθριες πηγές σκόνης στα ανθρακωρυχεία δυτικής επιφανείας	87
Πίνακας 18.	Γενικά χαρακτηριστικά των υπαίθριων ανθρακωρυχείων του Πίνακα 17.....	88
Πίνακας 19.	Εξισώσεις συντελεστών εκπομπών και πρότυποι συντελεστές εκπομπών για διάφορες εργασίες στα ανθρακωρυχεία	90
Πίνακας 20.	Πρότυποι συντελεστές εκπομπών για διάφορες εργασίες στα ορυχεία μετάλλων.....	91
Πίνακας 21.	Εκτιμώμενοι συντελεστές ελέγχου για διάφορες εξορυκτικές εργασίες. 92	
Πίνακας 22.	Συντελεστές εκπομπών καυσαερίων για διάφορες κατηγορίες εξορυκτικού εξοπλισμού.....	93
Πίνακας 23.	Σύνοψη δεδομένων για το υπαίθριο έργο της μελέτης.....	95
Πίνακας 24.	Συντελεστές εκπομπών που αναπτύχθηκαν για διάφορες εξορυκτικές εργασίες.....	100
Πίνακας 25.	Συντελεστές εκπομπών που αναπτύχθηκαν για διάφορες εξορυκτικές εργασίες.....	102
Πίνακας 26.	Πάγιος εξοπλισμός Ορυχείου Νοτίου Πεδίου.....	106
Πίνακας 27.	Ντιζελοκίνητος βοηθητικός εξοπλισμός Ορυχείου Νοτίου Πεδίου.....	107
Πίνακας 28.	Στοιχεία λειτουργίας εκσκαφών	108

Πίνακας 29.	Στοιχεία λειτουργίας αποθετών	108
Πίνακας 30.	Στοιχεία λειτουργίας τανιόδρομων.....	109
Πίνακας 31.	Κλιματολογικά στοιχεία περιοχής (1955-1997).....	113
Πίνακας 32.	Στοιχεία μοντέλου εκσκαφής	115
Πίνακας 33.	Στοιχεία μοντέλου απόθεσης.....	116
Πίνακας 34.	Ρυθμός εκπομπής κάθε πηγής για το μοντέλο εκσκαφής.....	118
Πίνακας 35.	Ρυθμός εκπομπής κάθε πηγής για το μοντέλο απόθεσης	119
Πίνακας 36.	Εκλυόμενη σκόνη εκσκαφών.....	121
Πίνακας 37.	Εκλυόμενη σκόνη αποθετών	121
Πίνακας 38.	Εκλυόμενη σκόνη ταινιόδρομων	122
Πίνακας 39.	Σύνολο εκλυόμενης σκόνης ανά δραστηριότητα	123
Πίνακας 40.	Επισκόπηση των εξισώσεων δόσης-απόκρισης για PM-10 και τα αντίστοιχα μοναδιαία κόστη	128
Πίνακας 41.	Εξωτερικό κόστος για την ανθρώπινη υγεία	129
Πίνακας 42.	Εξωτερικό κόστος για εκσκαφή - απόθεση	131
Πίνακας 43.	Ενδεικτική παρουσίαση συγκεντρώσεων	132
Πίνακας 44.	Εύρος και ποσοστιαία μεταβολή εξωτερικού κόστους	132

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.	Εγχώρια Παραγωγή Η.Ε. ανά μορφή καυσίμου – Διασυνδεδεμένο Σύστημα..	4
Σχήμα 2.	Χάρτης σταθμών παραγωγής και γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.	5
Σχήμα 3.	Χάρτης καταναλωθέντων και μη αποθεμάτων λιγνίτη	11
Σχήμα 4.	Η κατανομή των συγκεντρώσεων σε ένα πλούμιο Gauss	32
Σχήμα 5.	Εγκάρσια τομή διαμέσου ενός πλούμιου Gauss με $\sigma_y=20m$ και $\sigma_z=20m$. Η συγκέντρωση εκφράζεται σε σχετικές μονάδες	33
Σχήμα 6.	Επίδραση της ατμοσφαιρικής ευστάθειας στις συγκεντρώσεις από μια ανυψωμένη πηγή. α. Ουδέτερη στρωμάτωση β. Ευσταθείς συνθήκες γ. Ασταθείς συνθήκες.....	33
Σχήμα 7.	Η ανάκλαση των ρύπων στο έδαφος	35
Σχήμα 8.	Η θέση του άξονα του πλουμίου για ανώμαλη τοπογραφία.....	37
Σχήμα 9.	Σχηματική παρουσίαση του πεδίου ροής γύρω από μία χαμηλή καμινάδα τοποθετημένη στην κορυφή ενός κτιρίου	38
Σχήμα 10.	Σχηματική αναπαράσταση του πεδίου ροής γύρω από ένα κτίριο	38
Σχήμα 11.	Η επίδραση του ύψους εκπομπής στις παρατηρούμενες μέγιστες συγκεντρώσεις για δύο διαφορετικές κλάσεις ευστάθειας	40
Σχήμα 12.	Το πεδίο των συγκεντρώσεων εδάφους το οποίο προκύπτει από εκπομπές μίας καμινάδας	40
Σχήμα 13.	Νομόγραμμα για τον προσδιορισμό της απόστασης στην οποία εμφανίζεται η μέγιστη συγκέντρωση εδάφους.....	42
Σχήμα 14.	Καθορισμός της τιμής σε σχέση με το οριακό κοινωνικό κόστος και την οριακή επιθυμία για πληρωμή (WTP) για την απόκτηση ενός αγαθού	46
Σχήμα 15.	Σχηματική απεικόνιση θετικών εξωτερικοτήτων	49

Σχήμα 16.	Σχηματική απεικόνιση των επιπτώσεων από το εξωτερικό κόστος της εταιρίας παραγωγής χάλυβα του παραδείγματος	51
Σχήμα 17.	Σχηματική απεικόνιση των επιπτώσεων από το εξωτερικό κόστος της εταιρίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του παραδείγματος	52
Σχήμα 18.	Σχηματική απεικόνιση παραδείγματος επιβολής προτύπου	55
Σχήμα 19.	Αναπαραγωγή του σχήματος με την επίδραση αρνητικής εξωτερικότητας στην εταιρία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την επιβολή φόρου.....	57
Σχήμα 20.	Η προσέγγιση του τρόπου επίδρασης (Impact Pathway Approach).....	60

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.	Setup screen	67
Εικόνα 2.	Source screen	69
Εικόνα 3.	Meteorology screen	72
Εικόνα 4.	Υποκαρτέλα εισαγωγής μετεωρολογικών δεδομένων	73
Εικόνα 5.	Background screen	74
Εικόνα 6.	Grids screen	75
Εικόνα 7.	Output screen	76
Εικόνα 8.	Τομείς άνθρακα στις δυτικές ΗΠΑ.....	81
Εικόνα 9.	Εργασίες σε ένα τυπικό δυτικό ανθρακορυχείο επιφανειακής εκμετάλλευσης.....	82
Εικόνα 10.	Περιοχή μελέτης.....	96
Εικόνα 11.	Υφιστάμενη κατάσταση και γενικό σχέδιο ανάπτυξης Νοτίου Πεδίου	105
Εικόνα 12.	Γραφική απεικόνιση διασποράς μοντέλου εκσκαφής	124
Εικόνα 13.	Γραφική απεικόνιση διασποράς μοντέλου απόθεσης.....	125
Εικόνα 14.	Γραφική απεικόνιση συνολικής διασποράς.....	126
Εικόνα 15.	Γραφική απεικόνιση διασποράς μοντέλου ξηρής απόθεσης	134
Εικόνα 16.	Γραφική απεικόνιση διασποράς μοντέλου υγρής απόθεσης	135
Εικόνα 17.	Γραφική απεικόνιση διασποράς μοντέλου με τοπογραφία	136

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα

1.1.1 Ιστορική αναδρομή

Το 1889 φτάνει το ηλεκτρικό ρεύμα στην Ελλάδα. Η Γενική Εταιρεία Εργοληψιών, κατασκευάζει στην Αθήνα, στην οδό Αριστείδου, την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Το πρώτο κτίριο που φωτίζεται είναι τα Ανάκτορα και πολύ σύντομα ο ηλεκτροφωτισμός επεκτείνεται στο ιστορικό κέντρο της Πρωτεύουσας. Τον ίδιο χρόνο η τουρκοκρατούμενη Θεσσαλονίκη θα δει κι αυτή το ηλεκτρικό φως, καθώς Βελγική Εταιρία αναλαμβάνει απ' τις Τουρκικές αρχές το φωτισμό και την τροchioδρόμηση της πόλης με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Δέκα χρόνια αργότερα οι πολυεθνικές εταιρίες ηλεκτρισμού κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα. Η αμερικανική εταιρία Thomson - Houston με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας θα ιδρύσει την Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρία που θα αναλάβει την ηλεκτροδότηση κι άλλων μεγάλων Ελληνικών πόλεων. Μέχρι το 1929 θα ηλεκτροδοτηθούν 250 πόλεις με πληθυσμό πάνω από 5.000 κατοίκους. Στις πιο απομακρυσμένες περιοχές, που ήταν ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρίες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, την ηλεκτροδότηση αναλαμβάνουν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια (ΔΕΗ Α.Ε.).

Το 1950 υπήρχαν στη Ελλάδα 400 περίπου εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιούσαν ήταν το πετρέλαιο και ο γαιάνθρακας, που εισάγονταν από το εξωτερικό. Η κατάτμηση αυτή της παραγωγής, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εξωθούσε την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος στα ύψη (τριπλάσιες ή και πενταπλάσιες τιμές απ' αυτές που ίσχυαν στις άλλες Ευρωπαϊκές χώρες). Το ηλεκτρικό λοιπόν ήταν ένα πολυτελείας αγαθό, αν και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο (ΔΕΗ Α.Ε.).

Για να εξαπλωθεί η ηλεκτρική ενέργεια ομοιόμορφα σε όλη τη χώρα και για να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά τόσο στη βιομηχανία όσο και στην ύπαιθρο, έπρεπε να υπάρξουν οι εξής προϋποθέσεις (ΔΕΗ Α.Ε.):

- Αξιοποίηση των εγχώριων πλουτοπαραγωγικών πόρων, που απαιτούσε όμως

τεράστιες επενδύσεις, οι οποίες δεν μπορούσαν να πραγματοποιηθούν από τους μεμονωμένους βιομηχάνους παραγωγής ενέργειας.

- Ενοποίηση της παραγωγής σε ενιαίο διασυνδεδεμένο δίκτυο, ώστε τα φορτία να επιμερίζονται σε εθνική κλίμακα.
- Ύπαρξη ενιαίου φορέα που θα επέτρεπε τον επιμερισμό του κόστους ανάμεσα στις κερδοφόρες και ζημιογόνες περιοχές.

Τις προϋποθέσεις αυτές κλήθηκε να καλύψει μια νεοϊδρυθείσα εταιρία του ελληνικού δημοσίου. Έτσι τον Αύγουστο του 1950 ιδρύεται η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, με σκοπό τη χάραξη και εφαρμογή μιας εθνικής ενεργειακής πολιτικής, η οποία μέσα από την εντατική εκμετάλλευση των εγχώριων πόρων, θα κάνει το ηλεκτρικό ρεύμα προσιτό σε κάθε Έλληνα πολίτη, στη φθηνότερη δυνατή τιμή (ΔΕΗ Α.Ε.).

Αμέσως με την ίδρυσή της, η ΔΕΗ στρέφεται προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας ενώ ξεκινά και η ενοποίηση των δικτύων σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα. Τα πλούσια λιγνιτικά κοιτάσματα του ελληνικού υπεδάφους που είχαν νωρίτερα εντοπισθεί, άρχισαν να εξορύσσονται και να χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη στις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Παράλληλα, η Επιχείρηση ξεκίνησε την αξιοποίηση της δύναμης των υδάτων με την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών στα μεγάλα ποτάμια της χώρας. Αρκετά νωρίς, το 1956, αποφασίστηκε η εξαγορά όλων των ιδιωτικών και δημοτικών επιχειρήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να υπάρχει ένας ενιαίος φορέας διαχείρισης. Έτσι το ηλεκτρικό ρεύμα έφτασε με επάρκεια σε κάθε άκρη της ελληνικής γης. Από τα μικρά ακριτικά νησιά μας ως τους πιο απόμακρους οικισμούς της ορεινής Ελλάδας (ΔΕΗ Α.Ε.).

1.1.2 Η σημερινή νέα κατάσταση

Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (Νόμος 2773/1999), στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης της εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, σκοπεύει στα εξής:

- Μείωση του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας άρα και των τιμών.
- Ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών δραστηριοτήτων σχετικών με την ηλεκτρική ενέργεια άμεσα και έμμεσα.
- Αξιόπιστη τεχνικά και ποιοτικά παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Οικονομικά και ποιοτικά προσιτή ηλεκτρική ενέργεια προς όλους τους καταναλωτές περιλαμβανομένων απομακρυσμένων περιοχών, νησιών κλπ.

- Εξυπηρέτηση υπό συνθήκες ανταγωνισμού των στόχων σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές, το φυσικό αέριο, το περιβάλλον, τις νέες τεχνολογίες και την ασφάλεια τροφοδοσίας της χώρας.

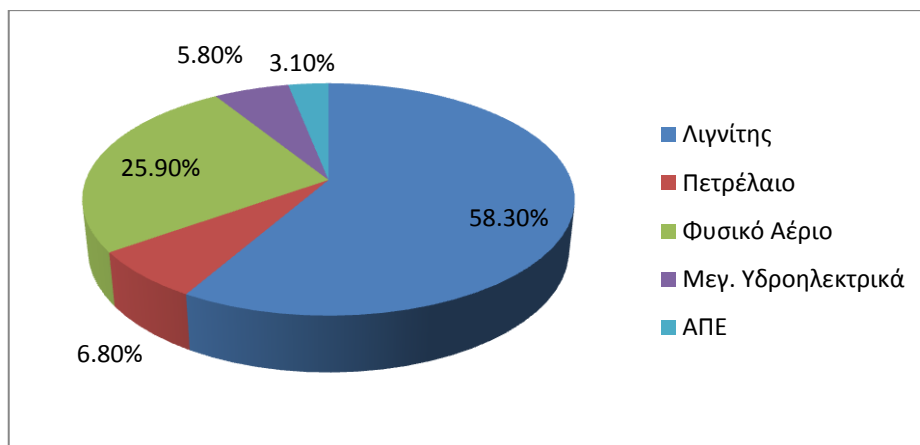
Αυτός ο νόμος, που αποτελεί το βασικό θεσμικό υπόβαθρο, επέφερε αλλαγές και στο σύστημα παραγωγής, ελέγχου και διακίνησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ΔΕΗ μετατράπηκε σε Ανώνυμη Εταιρία και συστάθηκαν δύο βασικοί φορείς λειτουργίας της απελευθερωμένης αγοράς: η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) και η Ανώνυμη Εταιρεία ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΔΕΣΜΗΕ).

1.2 Δεδομένα του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος

Το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα βρίσκεται την τελευταία δεκαετία σε φάση σημαντικών αλλαγών. Η διείσδυση του φυσικού αερίου, η κατασκευή των διευρωπαϊκών δικτύων, η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας και τέλος η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τα νέα δεδομένα του.

Σημαντικές είναι οι επιπτώσεις των νέων αυτών δεδομένων στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της χώρας, στη μείωση της εξάρτησης της από το εισαγόμενο πετρέλαιο, με όλα τα συνεπαγόμενα οφέλη στην εθνική οικονομία, στην εξοικονόμηση μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων, στην αύξηση της αποδοτικότητας των διαδικασιών παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, στην προστασία του περιβάλλοντος και τέλος στη βελτίωση των παρεχομένων υπηρεσιών στους καταναλωτές.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα προέρχεται κυρίως από θερμικούς σταθμούς. Στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας παράγεται το 75% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας, εκ της οποίας το 50% στο νομό Κοζάνης. Με το νέο ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό της Μελίτης του νομού Φλωρίνης, η Δυτική Μακεδονία καλύπτει το 80% των απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια της χώρας. Η συγκέντρωση των θερμικών ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών στο Βορρά της χώρας δημιουργεί αυξημένες απώλειες κατά τη μεταφορά και ανισορροπία στη λειτουργία. Ωστόσο ο σχεδιασμός τους βασίστηκε στην εγγύτητά τους στις περιοχές που είναι οι πλουτοπαραγωγικές πηγές του λιγνίτη, ο οποίος αποτελεί την καύσιμη πρώτη ύλη για αρκετούς σταθμούς (Ρ.Α.Ε.).



Σχήμα 1. Εγχώρια Παραγωγή Η.Ε. ανά μορφή καυσίμου – Διασυνδεδεμένο Σύστημα
(Πηγή: ΔΕΣΜΗΕ, 2008)

Ο λιγνίτης είναι η πιο σημαντική εγχώρια ενεργειακή πηγή, συνεισφέροντας το 58.3% της εγχώριας παραγωγής για το 2008 (Σχ. 1). Το πετρέλαιο έχει περιοριστεί στο 6,8% (2007) μετά την εισαγωγή του φυσικού αερίου (συμμετοχή 25,9%), το οποίο αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς. Ταυτόχρονα η ανάδειξη της προστασίας του περιβάλλοντος ως στόχου υψηλής προτεραιότητας της ελληνικής πολιτείας, οδηγεί σε προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, θέτοντας ως στόχο την αύξηση συμμετοχής τους στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο 34% μέχρι το 2020. Στο ίδιο πλαίσιο δίνεται έμφαση στην επιτάχυνση της διείσδυσης του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο. Επειδή η χρονική διάρκεια ζωής των ήδη γνωστών εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων λιγνίτη δεν υπερβαίνει τα 35 χρόνια, έχει διατυπωθεί η άποψη ότι θα πρέπει να μπουν στο ελληνικό ισοζύγιο ηλεκτρισμού νέα καύσιμα, όπως ο λιθάνθρακας, ώστε να παραταθεί η διαθεσιμότητα και η χρήση του λιγνίτη σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου (P.A.E.). Οι ανθρακικές μονάδες επιτυγχάνουν υψηλότερους βαθμούς απόδοσης από τις λιγνιτικές και κατά συνέπεια εκπέμπουν μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα ανά παραγόμενη μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας. Όσον αφορά στις εκπομπές διοξειδίου του θείου, αυτές αντιμετωπίζονται με αντιρρυπαντικές εγκαταστάσεις όπως η αποθειώση καυσαερίων. Επιπλέον ανάμεσα στα πλεονεκτήματα του άνθρακα είναι ότι, ενώ το φυσικό αέριο θα είναι διαθέσιμο για τα επόμενα 50 – 60 χρόνια, ο άνθρακας θα είναι διαθέσιμος τουλάχιστον για 200 χρόνια ακόμη. Ωστόσο η μελλοντική αξιοποίηση του άνθρακα θα εξαρτηθεί από τη δυνατότητα των ηλεκτροπαραγωγών μονάδων άνθρακα να υιοθετήσουν καθαρές και αποδοτικές τεχνολογίες καύσης, ώστε να προσαρμοστούν στο αυστηρό πλαίσιο των περιβαλλοντικών απαιτήσεων του «Πρωτοκόλλου του Κυότο» και των αυστηρών Ευρωπαϊκών προδιαγραφών για νέες εγκαταστάσεις καύσης (P.A.E.).

Η ΔΕΗ με ένα τεράστιο κατασκευαστικό έργο εξασφαλίζει την επάρκεια της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι 34 μεγάλοι θερμικοί και υδροηλεκτρικοί σταθμοί και τα 3 αιολικά πάρκα του διασυνδεδεμένου συστήματος της ηπειρωτικής χώρας καθώς και οι 61 αυτόνομοι σταθμοί Κρήτης, Ρόδου και λοιπών νησιών μας (39 θερμικοί, 2 υδροηλεκτρικοί, 15 αιολικά πάρκα και 5 φωτοβολταϊκοί σταθμοί) συνιστούν ένα βιομηχανικό κολοσσό που αποτελεί την ενεργειακή βάση κάθε οικονομικής δραστηριότητας στη χώρα μας (ΔΕΗ Α.Ε.).



Σχήμα 2. Χάρτης σταθμών παραγωγής και γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Πηγή: ΔΕΗ Α.Ε.)

Τα τελευταία χρόνια η ΔΕΗ, πέραν της δημιουργίας νέων θερμικών (λιγνιτικών, πετρελαϊκών, φυσικού αερίου) και υδροηλεκτρικών σταθμών, στρέφεται και προς την αξιοποίηση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας (άνεμος, ήλιος, γεωθερμία) (ΔΕΗ Α.Ε.).

Το ηλεκτρικό σύστημα της Ελλάδας διακρίνεται στο Εθνικό Διασυνδεδεμένο

Σύστημα (Ε.Δ.Σ.) και στο Νησιωτικό Σύστημα. Το σύστημα μεταφοράς του Εθνικού Διασυνδεδεμένου Συστήματος απαρτίζεται από γραμμές μεταφοράς υψηλής (150kV) και υπερυψηλής (400 kV) τάσης (Σχ. 2).

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των 98 συνολικά σταθμών της ΔΕΗ ανέρχονταν στο τέλος του 2007 στα 12.760 MW (Πιν. 1). Η καθαρή παραγωγή το 2007 έφτασε τις 53,09 TWh (ΔΕΗ Α.Ε.).

Πίνακας 1. Εγκατεστημένη ισχύς σταθμών ΔΕΗ

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW) ΣΤΑΘΜΩΝ ΔΕΗ Α.Ε. (31/12/2007)							
	ΘΗΣ						
	Λιγνιτικές Μονάδες	Πετρελαϊκές Μονάδες	Μονάδες Φυσικού Αερίου	Σύνολο ΘΗΣ*	ΥΗΣ**	ΑΠΕ***	ΣΥΝΟΛΟ
Διασυνδεδεμένο	5.288	750	1.966	8.004	3.020	46	11.070
Κρήτη, Ρόδος & λοιπά αυτόνομα νησιά	-	1.656	-	1.656	-	34	1.689
ΣΥΝΟΛΟ	9.660				3.020	80	12.760

* Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί ** Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί *** Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

(Πηγή: ΔΕΗ Α.Ε., 2007)

1.3 Λιγνίτης

1.3.1 Ιστορικά στοιχεία

Η εξόρυξη γαιάνθρακα, αν και σε μικρή κλίμακα, συμβαίνει εδώ και περίπου 3000 χρόνια. Από τους πρώτους που χρησιμοποίησαν τα αποθέματα των γαιανθράκων ήταν οι Κινέζοι. Ως καύσιμο για τη θέρμανση των σπιτιών, ο γαιάνθρακας χρησιμοποιείται στη Βόρεια Ευρώπη από το 13ο αιώνα. Το αποφασιστικό γεγονός ήταν η αποψίλωση των δασών της Βρετανίας κατά το 17ο και 18ο αιώνα, που είχε ως αποτέλεσμα την επέκταση των αγροτικών καλλιεργειών και την αυξημένη χρήση του ξύλου ως κατασκευαστικό δομικό υλικό και ιδιαίτερα ως καυσίμου ύλης. Το ξύλο ήταν η πηγή καυσίμου για τις βιομηχανίες, των οποίων οι απαιτήσεις διαρκώς αυξανόντουσαν. Έτσι οι Βρετανοί άρχισαν να ψάχνουν υποκατάστατα ενεργειακών πηγών για να ικανοποιήσουν την ταχέως αναπτυσσόμενη βιομηχανία τους. Η στροφή προς το γαιάνθρακα υπήρξε ένα σημαντικότατο βήμα για τη βιομηχανική επανάσταση και την ιστορία της ανθρωπότητας γενικότερα. Μαζί με την

ανακάλυψη της ατμομηχανής, επιτάχυνε την πορεία προς την εκβιομηχάνιση με ό,τι αυτή συνεπάγεται για την ανθρώπινη ιστορία. Η χρήση του γαιάνθρακα είχε διαρκώς αυξανόμενους ρυθμούς παγκοσμίως μέχρι και το 19ο αιώνα, ακολουθώντας στις περισσότερες περιπτώσεις τη γενικευμένη αποψίλωση των δασών. Την εποχή εκείνη ήταν η κυρίαρχη πηγή ενέργειας για την ανθρωπότητα.

1.3.2 Περιγραφή

Οι λιγνίτες ανήκουν στις στερεές ορυκτές καύσιμες ύλες με τη γενική ονομασία γαιάνθρακες και προήλθαν από τα φυτικά υπολείμματα μέσω μίας σειράς διεργασιών ενανθράκωσης. Οι διεργασίες αυτές είχαν ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των φυτικών υπολειμμάτων σε άνθρακα. Οι ορυκτοί άνθρακες, με βάση το βαθμό ενανθράκωσης τους διακρίνονται σε τύρφη, λιγνίτη, λιθάνθρακα, ανθρακίτη και γραφίτη. Η μετατροπή των φυτών σε τύρφη και η μετάβαση από την τύρφη, στο αρχικό στάδιο της ενανθράκωσης, στον ανθρακίτη στο τελικό στάδιο ενανθράκωσης, είναι συνάρτηση της επίδρασης του χρόνου, της θερμοκρασίας και της πίεσης. Η αύξηση του βαθμού ενανθράκωσης επηρεάζει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των γαιανθράκων (ΔΕΗ Α.Ε.).

Ο όρος «λιγνίτης» δεν αποδίδεται με την ίδια έννοια σε όλες τις χώρες, δεν υπάρχει δηλαδή αντιστοιχία όρου που να αποδίδει επακριβώς και να προσδιορίζει γαιάνθρακα με συγκεκριμένες φυσικοχημικές ιδιότητες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο όρος Braunkohle (φαιάνθρακας) που για τους Γερμανούς χαρακτηρίζει πολύ καλής ποιότητας λιγνίτες, ενώ ο ίδιος όρος (Braun coal) στις ΗΠΑ χαρακτηρίζει τους χαμηλότερης ποιότητας λιγνίτες.

Οι λιγνίτες σχηματίστηκαν κατά τα πρώτα στάδια της ενανθράκωσης αμέσως μετά την τύρφη πιστεύεται ότι είναι η νεότερη μορφή γαιάνθρακα, η οποία σχηματίστηκε πριν από 150 εκατομμύρια χρόνια. Ανάλογα με τις μακροσκοπικές λιθοτυπικές διαφορές τους, τις φυσικοχημικές ιδιότητες, την ποιότητα, την ηλικία, τις συνθήκες σχηματισμού και τη συνεκτικότητά τους, οι λιγνίτες διακρίνονται σε μαλακούς, γαιώδεις λιγνίτες (χρώματος σκούρου καστανού έως καστανόμαυρου) και σε σκληρούς, συμπαγείς, αλαμπείς ή στιλπνούς (χρώματος καφέ έως μαύρου). Έχουν μεγάλο ποσοστό υγρασίας σε φυσική κατάσταση που φτάνει μέχρι και 60% (Πίν. 2).

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά λιγνίτη

	Λιγνίτης	Λιθάνθρακας
Ηλικία δημιουργίας	40-60 εκατ. έτη	270-350 εκατ. έτη
Περιεκτικότητα σε νερό	15-65%	1-4%
Περιεκτικότητα σε τέφρα	1-15%	1-30%
Περιεκτικότητα σε άνθρακα	60-75%	75-92%
Περιεκτικότητα σε υδρογόνο	5-9%	4-6%
Περιεκτικότητα σε οξυγόνο	15-25%	2-10%
Περιεκτικότητα σε θείο	0,2%	0,5-1,5%
Περιεκτικότητα σε άζωτο	0,5-2%	1-2%
Θερμογόνος ισχύς	5-10 MJ/kg	28-35 MJ/kg

(Πηγή: Γρηγορόπουλος, 2005)

Για το σχηματισμό ενός κυβικού μέτρου λιγνίτη, απαιτείται χρονικό διάστημα 1000 έως 4000 ετών. Η θερμογόνος ισχύ των λιγνιτών είναι από 3 ως 7 φορές χαμηλότερη από αυτή του λιθάνθρακα και 5 ως 10 φορές μικρότερη από αυτή του πετρελαίου (ΔΕΗ Α.Ε.).

1.3.3 Παγκόσμια αγορά λιγνίτη

Η κυριότερη χρήση του λιγνίτη είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε παγκόσμιο επίπεδο το 4% των 13 τρισεκατομμυρίων KWh ηλεκτρικής ενέργειας που παρήχθησαν το 1996 προήλθε από λιγνίτη. Το ποσοστό συμμετοχής της παραγωγής λιγνίτη σε σχέση με αυτό των ορυκτών ανθράκων φτάνει το 18%. Την τελευταία δεκαετία η παγκόσμια παραγωγή λιγνίτη μειώνεται με σχετικά βραδείς ρυθμούς. Οι κυριότερες αιτίες είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από άλλες πηγές όπως το φυσικό αέριο και η πυρηνική ενέργεια, η μικρή αξία του λιγνίτη λόγω της μικρής θερμογόνου δύναμης που καθιστά αδύνατο το εμπόριο του σε μεγάλες αποστάσεις και τέλος τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργούνται κατά την εκσκαφή και την καύση του. Στον Πίνακα 3 φαίνονται οι δέκα πρώτες χώρες παραγωγής λιγνίτη για το έτος 2004. Η Ελλάδα βρίσκεται στην τρίτη θέση με ετήσια παραγωγή 70 εκατομμύρια τόνους περίπου (IEA, Coal Information, 2006).

Πίνακας 3. Κύριες χώρες παραγωγής λιγνίτη (2004)

ΧΩΡΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (Ktn)
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	181.900
Η.Π.Α.	75.800
ΕΛΛΑΔΑ	70.000
ΡΩΣΙΑ	69.200
ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ	68.600
ΠΟΛΩΝΙΑ	61.200
ΤΣΕΧΙΑ	48.500
ΤΟΥΡΚΙΑ	44.400
ΣΕΡΒΙΑ - ΜΑΥΡΟΒΟΥΝΙΟ	41.100
ΚΑΝΑΔΑΣ	36.700
ΣΥΝΟΛΟ	697.400

(Πηγή: IEA, Coal Information, 2006)

1.3.4 Εγχώρια κατάσταση

Για την Ελλάδα ο όρος «λιγνίτης» καλύπτει ένα ευρύ φάσμα που κυμαίνεται μεταξύ των γαιανθράκων προχωρημένης ενανθράκωσης σε σχέση με την τύρφη και κατά συνέπεια αναλόγων ποιοτικών και φυσικών ιδιοτήτων και χαμηλότερου βαθμού ενανθράκωσης σε σχέση με τους λιθάνθρακες.

Στην Ελλάδα συναντάται και ο λεγόμενος ξυλίτης, ο οποίος συνίσταται σχεδόν αποκλειστικά από συστατικά δένδρων. Ποιοτικά οι λιγνίτες διαφέρουν πολύ από κοίτασμα σε κοίτασμα, ενώ ποιοτικές αποκλίσεις είναι συνηθισμένες ακόμη και εντός ενός κοιτάσματος. Γενικά η ποιότητα των ελληνικών λιγνιτών είναι χαμηλή.

Ο λιγνίτης είναι το μόνο αξιόλογο εγχώριο καύσιμο για παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα. Η πρώτη σοβαρή προσπάθεια για την εκμετάλλευση λιγνιτικών κοιτασμάτων στη χώρα μας άρχισε στο Αλιβέρι (Εύβοια) το 1873, αλλά μια πλημμύρα το 1897 κατέστρεψε όλες τις επιφανειακές και υπόγειες εγκαταστάσεις εξόρυξης. Ο πρώτος ατμοηλεκτρικός σταθμός που λειτουργούσε αποκλειστικά με λιγνίτη κατασκευάστηκε και λειτούργησε στο Αλιβέρι το 1951. Από το 1955, που ξεκίνησε η συστηματική εκμετάλλευσή του στο Αλιβέρι, μέχρι και σήμερα, η αξιοποίηση του λιγνίτη αποτελεί για την Ελλάδα έναν από τους βασικούς άξονες της ενεργειακής πολιτικής της (ΔΕΗ Α.Ε.). Οι Λιγνιτικοί Σταθμοί της ΔΕΗ, ιδρύθηκαν σταδιακά από την πρώτη περίοδο ανάπτυξης της επιχείρησης, με σκοπό την εκμετάλλευση του εγχωρίου καυσίμου, του λιγνίτη (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2001).

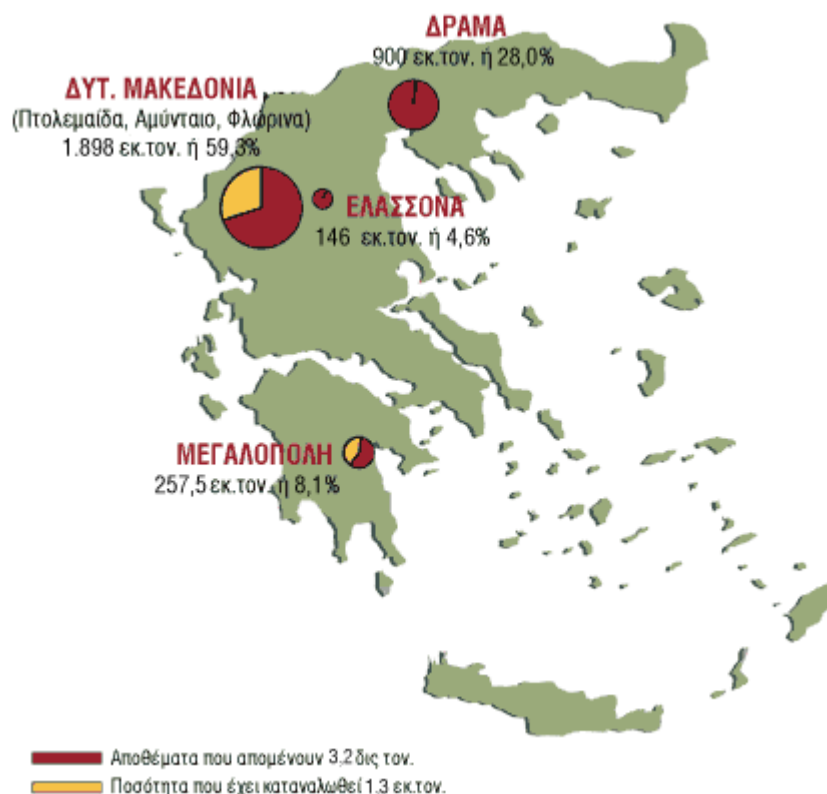
Σήμερα εκμεταλλεύονται για ηλεκτροπαραγωγή τα κοιτάσματα της Δυτικής Μακεδονίας - Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου και Φλώρινας - και της Μεγαλόπολης. Η εκμετάλλευση των λιγνιτών σε Ελασσόνα και Δράμα είναι μέσα στις άμεσες προτεραιότητες της ΔΕΗ για τα επόμενα χρόνια (ΔΕΗ Α.Ε). Η Ελληνική Πολιτεία έχει θεσπίσει το λεγόμενο τέλος λιγνίτου ή ενεργειακό πόρο, με σκοπό την ανάπτυξη των περιοχών στις οποίες γίνεται εξόρυξη και εκμετάλλευση λιγνίτη από τη ΔΕΗ. Ο ενεργειακός πόρος αποτελεί σταθερό ποσοστό του ετήσιου κύκλου εργασιών της ΔΕΗ (0,4%) και αποδίδεται ανάλογα με την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στους τρεις νομούς της χώρας, στους οποίους υπάρχουν λιγνιτικοί ΑΗΣ της ΔΕΗ, Κοζάνη, Φλώρινα και Αρκαδία (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2001).

Ο ελληνικός λιγνίτης έχει γενικά χαμηλή θερμογόνο δύναμη. Η θερμογόνος δύναμη κυμαίνεται από 4-4,5 MJ/kg (900-1000 Kcal/kg) στις περιοχές Μεγαλόπολης, Αμυνταίου και Δράμας, από 5,2-5,6 MJ/kg (1250-1350 Kcal/kg) στην περιοχή Πτολεμαΐδας και 7,5-9,5 MJ/kg (1800-2300 Kcal/kg) στις περιοχές Φλώρινας και Ελασσόνας. Επίσης χαρακτηρίζεται από το μεγάλο ποσοστό υγρασίας του φυσικού καυσίμου (50 έως 60%), το μεγάλο ποσοστό αδρανών (τέφρα 12-16%) και το γεγονός ότι έχουν έντονη αλκαλικότητα (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2001). Σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα των λιγνιτών της χώρας είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε καύσιμο θείο. Επίσης ο Ελληνικός λιγνίτης έχει σχετικά υψηλό ποσοστό πτητικών (περίπου 39%), κάτι που βοηθάει στη διαδικασία της καύσης του (ΔΕΗ Α.Ε.).

Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στη Δυτική Μακεδονία στο τρίγωνο Πτολεμαΐδα – Αμυνταίου – Φλώρινας με υπολογισμένο απόθεμα 1,8 δισ. τόνους και στην Πελοπόννησο στη Μεγαλόπολη, με απόθεμα 223 εκ. τόνους. Σημαντικά κοιτάσματα, τα οποία δεν αξιοποιούνται προς το παρόν, υπάρχουν στις περιοχές της Δράμας (900 εκ. τόνοι) και της Ελασσόνας (169 εκ. τόνοι). Τα συνολικά βεβαιωμένα γεωλογικά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα ανέρχονται σε περίπου 5 δισεκατομμύρια τόνους. Τα κοιτάσματα αυτά παρουσιάζουν αξιοσημείωτη γεωγραφική εξάπλωση στον ελληνικό χώρο. Με τα σημερινά τεχνο-οικονομικά δεδομένα τα κοιτάσματα που είναι κατάλληλα για ενεργειακή εκμετάλλευση, ανέρχονται σε 3,2 δισεκατομμύρια τόνους και ισοδυναμούν με 450 εκ. τόνους πετρελαίου (ΔΕΗ Α.Ε.).

Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη (Σχ. 3) της χώρας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για περισσότερο από 45 χρόνια. Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη δεν ξεπερνούν το 29% των συνολικών αποθεμάτων. Εκτός από λιγνίτη η Ελλάδα διαθέτει και ένα μεγάλο κοιτάσμα τύρφης στην περιοχή των Φιλιππων (Ανατολική

Μακεδονία). Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα στο κοίτασμα εκτιμώνται σε 4 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα και αντιστοιχούν σε 125εκ. τόνους πετρελαίου (ΔΕΗ Α.Ε.).



Σχήμα 3. Χάρτης καταναλωθέντων και μη αποθεμάτων λιγνίτη (Πηγή: ΔΕΗ Α.Ε.)

1.3.5 Η σημασία του λιγνίτη για την Ελλάδα

Η παραγωγή λιγνίτη στην Ελλάδα από το 1990 έως το 2000 παρουσιάζει αυξητική πορεία. Η συμμετοχή του στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται σταθερά τα τελευταία 30 χρόνια φτάνοντας και ξεπερνώντας την δεκαετία του 90 το 70%. Ο λιγνίτης αποτελεί για την Ελλάδα τη σημαντικότερη πηγή ενέργειας και η εκμετάλλευσή του έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή φθηνού ηλεκτρικού ρεύματος (Καλιαμπάκος, 2000).

Τα πλεονεκτήματα του μέχρι σήμερα λιγνιτικού προσανατολισμού της ενεργειακής πολιτικής της Ελλάδας είναι: οι χαμηλές τιμές στο παραγόμενο ρεύμα, η ασφάλεια ανεφοδιασμού, που αποτελεί βασικό παράγοντα για χάραξη μακροπρόθεσμης ενεργειακής πολιτικής και ότι η χρήση του λιγνίτη υποκαθιστά εισαγόμενα καύσιμα ή εισαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρημάτων καθώς και την σχετική ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας. Το βασικό μειονέκτημα του λιγνίτη είναι τα περιβαλλοντικά προβλήματα που δημιουργούνται από την εξόρυξη και την καύση του.

1.4 Εξόρυξη

Το κύριο χαρακτηριστικό των λιγνιτικών κοιτασμάτων στις περιοχές Πτολεμαΐδας Αμυνταίου και Μεγαλόπολης είναι η συχνή εναλλαγή ποικίλλοντος πάχους οριζόντιων λιγνιτικών στρωμάτων και ενδιάμεσων στειρών υλικών. Επίσης μεγάλα πάχη αγόνων υλικών, τα υπερκείμενα, βρίσκονται πάνω από τα λιγνιτικά κοιτάσματα. Τα υπερκείμενα συνίστανται κυρίως από μάργες, αμμοχάλικα και αργίλους.

Η εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων γίνεται επιφανειακά με ορθές βαθμίδες. Οι απαιτήσεις αφενός για εκλεκτική εξόρυξη του λιγνίτη ή αγόνων υλικών και αφετέρου για υψηλή παραγωγή οδήγησαν στην επιλογή της «γερμανικής μεθόδου» εκσκαφής, μεταφοράς και απόθεσης.

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ως κύριος εξοπλισμός ένα σύστημα συνεχούς λειτουργίας που αποτελείται από ηλεκτροκίνητους καδοφόρους εκσκαφείς, ταινιόδρομους και αποθέτες. Για την εξόρυξη του κοιτάσματος χωρίζονται τα υπερκείμενα άγωνα υλικά και τα λιγνιτικά στρώματα σε βαθμίδες ύψους 10 ως 30 μέτρων ανάλογα με τον τύπο του καδοφόρου εκσκαφέα. Το κοιτάσμα εκσκάπτεται κατά στρώσεις και τα μεν άγωνα υλικά (υπερκείμενα ή ενδιάμεσα) μεταφέρονται με τους ταινιόδρομους στους αποθέτες, ο δε λιγνίτης μεταφέρεται στις αυλές των ατμοηλεκτρικών σταθμών ή σε άλλους καταναλωτές ή σε υπαίθριες αποθήκες των λιγνιτωρυχείων.

Η απόθεση των αγόνων υλικών γίνεται σε ειδικά επιλεγμένες περιοχές, όπου μεταφέρεται και η τέφρα, το υπόλειμμα της καύσης του λιγνίτη στους σταθμούς. Εκτός από τον κύριο εξοπλισμό στην παραγωγική διαδικασία εξόρυξης του λιγνίτη, χρησιμοποιούνται και άλλα μικρότερα χωματουργικά μηχανήματα, κυρίως φορτωτές, μπουλντόζες, εκσκαφείς, φορτηγά κλπ. τα οποία υποστηρίζουν τη λειτουργία του ορυχείου και ονομάζονται βοηθητικός εξοπλισμός.

1.4.1 Ορυχεία

Ο λιγνίτης που χρησιμοποιείται στην ηλεκτροπαραγωγή εξορύσσεται στα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ στην περιοχή της Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου και στη Μεγαλόπολη.

Ορυχεία Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου

Ο λιγνίτης Πτολεμαΐδας σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης χρονικής περιόδου (10 εκατομμύρια χρόνια περίπου) και εκτιμάται ότι οι διεργασίες τελείωσαν πριν 1 εκατομμύριο χρόνια (ΔΕΗ Α.Ε.).

Η ευρύτερη λεκάνη Μοναστηρίου, Φλώρινας, Αμυνταίου, Πτολεμαΐδας, Κοζάνης και Σερβίων καλύπτονταν την εποχή εκείνη από αβαθείς λίμνες και έλη. Οι κλιματολογικές συνθήκες ευνόησαν τη μεγάλη βλάστηση, υδροχαρών φυτών (βρύα, καλάμια, κλπ.) σε διάφορες θέσεις της λεκάνης. Με το χρόνο τα φυτά αυτά συγκεντρώθηκαν σε μεγάλες ποσότητες στον πυθμένα των λιμνών. Στη συνέχεια η βλάστηση καλύφθηκε από γαιώδη υλικά. Έτσι οι οργανικές ύλες των φυτών, ευρισκόμενες υπό πίεση και με την επίδραση διαφόρων μικροοργανισμών, μετατράπηκαν με το χρόνο σε στρώματα λιγνίτη. Αυτό επαναλήφθηκε πολλές φορές και τέλος πάνω από τα νεώτερα στρώματα λιγνίτη επικάθισαν άλλα γαιώδη υλικά, τα λεγόμενα «υπερκείμενα». Έτσι προέκυψαν λιγνιτικά κοιτάσματα μορφής Zebra (ΔΕΗ Α.Ε.).

Το πάχος των υπερκειμένων υλικών κυμαίνεται από 12 μέχρι 230 μέτρα για τα Ορυχεία που βρίσκονται σε λειτουργία στην περιοχή Πτολεμαΐδας. Τα υλικά αυτά είναι, συνήθως άμμος, αμμοχάλικα, μαλακός ασβεστόλιθος και άργιλος. Αλλά και το κοίτασμα του λιγνίτη δεν είναι ενιαίο διότι μέσα στο κοίτασμα αυτό υπάρχουν λεπτά στρώματα από τα γαιώδη υλικά και τα οποία επειδή βρίσκονται μεταξύ των λιγνιτικών στρωμάτων, ονομάζονται «ενδιάμεσα». Το μέσο πάχος των απολείψιμων στρωμάτων λιγνίτη ανέρχεται σε 2 μέτρα περίπου, ο αριθμός των οποίων κυμαίνεται από 20 έως 30 (ΔΕΗ Α.Ε.).

Το μεγαλύτερο λιγνιτικό δυναμικό της χώρας είναι συγκεντρωμένο σε τρεις περιοχές - λεκάνες κατά μήκος του άξονα Φλώρινα - Αμύνταιο - Πτολεμαΐδα - Κοζάνη - Σέρβια. Σταδιακά στην περιοχή Πτολεμαΐδας - Αμυνταίου δημιουργήθηκε ένα από τα μεγαλύτερα Λιγνιτικά Κέντρα στον κόσμο (ΔΕΗ Α.Ε.).

Στο Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου (Πιν. 4) λειτουργούν σήμερα τέσσερα λιγνιτωρυχεία: το Ορυχείο Νοτίου Πεδίου, το Ορυχείο Καρδιάς, το Ορυχείο Κυρίου Πεδίου και το Ορυχείο Αμυνταίου (συμπεριλαμβανομένου και του ορυχείου στη Φλώρινα). Επίσης στο Λιγνιτικό Κέντρο ανήκουν το Εργοστάσιο Λιγνιτοπλίνθων και ο ατμοηλεκτρικός σταθμός ΛΠΠΤΟΛ. Η παραγωγή λιγνίτη ανήλθε το 2006 σε 49 εκ. τόνους. Για την επίτευξη του έργου αυτού χρησιμοποιούνται 42 καδοφόροι εκσκαφείς, 16 αποθέτες, 225 km περίπου ταινιόδρομοι (με πλάτος 1,0 - 2,4 μέτρα) και 1.000 περίπου ντιζελοκίνητα μηχανήματα (ΔΕΗ Α.Ε.).

Πίνακας 4. Ενεργειακές μονάδες που τροφοδοτούνται με λιγνίτη από το Λιγνιτικό Κέντρο Πτολεμαΐδας – Αμυνταίου

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
ΑΗΣ ΛΙΠΤΟΛ	$10+33 = 43$
ΑΗΣ ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑΣ	$70 + 2 \times 125 + 300 = 620$
ΑΗΣ ΚΑΡΔΙΑΣ	$2 \times 300 + 2 \times 325 = 1.250$
ΑΗΣ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	$2 \times 300 + 2 \times 310 + 375 = 1.595$
ΑΗΣ ΑΜΥΝΤΑΙΟΥ	$2 \times 300 = 600$
ΑΗΣ ΜΕΛΙΤΗΣ-ΑΧΛΑΔΑΣ	$1 \times 330 = 330$
ΣΥΝΟΛΟ	4.438

(Πηγή: ΔΕΗ Α.Ε.)

Ορυχεία Μεγαλόπολης

Στην Πελοπόννησο, στο Νομό Αρκαδίας έχει δημιουργηθεί το Λιγνιτικό Κέντρο Μεγαλόπολης. Σήμερα λειτουργούν εκεί τα Ορυχεία Χωρεμίου, Μαραθούσας και Κυπαρισσίων. Στη λεκάνη της Μεγαλόπολης η λιγνιτογένεση έγινε όπως και στη Δυτική Μακεδονία. Η ανάπτυξη πλούσιας βλάστησης έγινε σε τέλματα ή αβαθείς λίμνες στις θερμές περιόδους του Πλειστόκαινου, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα τον ασυνεχή σχηματισμό λιγνιτικών στρωμάτων, που καλύπτοταν από φερτά γαιώδη υλικά του ποταμού Αλφειού. Συνολικά δημιουργήθηκαν τρεις λιγνιτικοί ορίζοντες με ιζήματα μεταξύ τους (ΔΕΗ Α.Ε.).

Στη λεκάνη διακρίνονται τρία λιγνιτικά κοιτάσματα, πιθανόν λόγω της ύπαρξης τριών ανεξάρτητων λιμνών, με διαφορετικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά. Τα κοιτάσματα αυτά είναι: Χωρέμι - Μαραθούσα (ολικό βάθος 140 μ.), Θωκνία - Κυπαρίσσια (ολικό βάθος 20-100 μ.) και Καρύταινας (ολικό βάθος 45 μ.). Το πάχος των λιγνιτικών στρωμάτων κυμαίνεται από λίγα εκατοστά έως 5 μέτρα. Στο Λιγνιτωρυχείο υπάρχουν σήμερα 10 καδοφόροι εκσκαφείς, 6 αποθέτες αγόνων, 3 αποθέτες λιγνίτη, 43 km ταινιόδρομοι (με πλάτος 1,2 - 1,6 μέτρα) και περίπου 330 ντιζελοκίνητα μηχανήματα. Η μέση θερμογόνος δύναμη του λιγνίτη ανέρχεται σε 1.000 kcal/kg (ΔΕΗ Α.Ε.).

Το 2008 η παραγωγή λιγνίτη ανήλθε σε 13,207 εκ. τόνους. Το Λιγνιτωρυχείο τροφοδοτεί με λιγνίτη τον ΑΗΣ Μεγαλόπολης Α με εγκατεστημένη ισχύ 550MW (2 μονάδες x 125MW + 1 μονάδα 300MW) και τον ΑΗΣ Μεγαλόπολης Β ισχύος 300 MW (ΔΕΗ Α.Ε.).

1.5 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Κατά την εξόρυξη λιγνίτη κύριος αέριος ρύπος είναι η σκόνη, η οποία αποτελείται από σωματίδια διαφόρων αεροδυναμικών διαμέτρων. Ειδικά τα αιωρούμενα σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο μικρότερη των 10 μm (PM-10), όταν υπερβούν κάποια επίπεδα συγκέντρωσης μπορούν να γίνουν ιδιαίτερα επικίνδυνα για τον άνθρωπο, καθώς εισέρχονται και αποτίθενται στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αποτίμηση του εξωτερικού κόστους από την εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων PM-10 κατά την εξόρυξη λιγνίτη. Ως εξωτερικό κόστος, στη συγκεκριμένη περίπτωση, εννοείται κυρίως το κόστος για την ανθρώπινη υγεία, το οποίο σύμφωνα και με διεθνείς έρευνες αποτελεί και το σημαντικότερο τμήμα του συνολικού εξωτερικού κόστους.

Επίκεντρο της μελέτης είναι το Ορυχείο Νοτίου Πεδίου της περιοχής Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου, όπου εμφανίζονται και τα περισσότερα απομένοντα αποθέματα λιγνίτη ($432,7 \times 10^6 \text{t}$). Στο πλαίσιο αυτό δημιουργείται μοντέλο διασποράς των αιωρούμενων σωματιδίων που εκλύονται κατά την εξόρυξη του λιγνίτη από την εκσκαφή, τη μεταφορά και την απόθεσή του, στην ευρύτερη περιοχή γύρω από το εν λόγω ορυχείο. Ακολούθως, με κατάλληλες εξισώσεις δόσης-απόκρισης υπολογίζονται οι φυσικές επιπτώσεις (π.χ. επεισόδια αναπνευστικών προβλημάτων ανά έτος) και, τέλος, οι φυσικές επιπτώσεις αποτιμώνται σε χρηματικές μονάδες αξιοποιώντας κατάλληλες τιμές μονάδας.

Το θεωρητικό υπόβαθρο (π.χ. οικονομική θεωρία εξωτερικότητων), το λογισμικό (ADMS 4), όπως και όλα τα στοιχεία που απαιτήθηκαν για την επίτευξη όλων των παραπάνω στόχων μέχρι την τελική παρουσίαση των αποτελεσμάτων παρατίθενται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια.

2 ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ

2.1 Ρύπανση του περιβάλλοντος

Η απελευθέρωση χημικών στοιχείων και των ενώσεων τους στο περιβάλλον προκαλεί τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Όμως δεν υπάρχει ένας γενικά αποδεκτός ορισμός για τη ρύπανση του περιβάλλοντος και από τους ορισμούς που δίνονται στη συνέχεια φαίνεται ότι η ρύπανση εξετάζεται συνήθως υπό το πρίσμα της χρησιμότητας που έχει το περιβάλλον για τον άνθρωπο. Σύμφωνα, λοιπόν, με διάφορους ορισμούς η ρύπανση:

- “... είναι η άμεση ή έμμεση εκπομπή στο περιβάλλον ουσιών, θορύβου ή άλλης μορφής ενέργειας σε ποσότητες, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορεί να προκαλέσει βλάβη στην υγεία του ανθρώπου, υλικές ζημιές, δυσμενή επίδραση σε ζώντες οργανισμούς ή σε οικοσυστήματα, γενικά να καταστήσει το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επωφελείς χρήσεις για τις οποίες προορίζεται” (Κωττής, 1994).
- “... θεωρείται η αλλοίωση της μορφής του περιβάλλοντος, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική διαταραχή της ισορροπίας του οικοσυστήματος με αρνητικές επιπτώσεις για την υγεία και το περιβάλλον (φυσικός χώρος)” (Κωττής, 1994, Βλ. Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος, Στατιστικές Περιβάλλοντος έτους 1987).
- “... περιβάλλοντος ονομάζεται οποιαδήποτε μεταβολή των φυσικών, χημικών και βιολογικών παραμέτρων του περιβάλλοντος λόγω της προσθήκης σε αυτό ουσιών, που οι συγκεντρώσεις τους ξεπερνούν τα φυσιολογικά όρια”. Η ρύπανση του περιβάλλοντος προκαλείται ιδιαίτερα από ουσίες που απελευθερώνονται και διοχετεύονται στο περιβάλλον και οι οποίες έχουν τοξικές και επικίνδυνες ιδιότητες. Τα υλικά αυτά που αποκαλούνται ρύποι μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στην υγεία και τη λειτουργία των ανθρώπινων κοινοτήτων (Κονισπολιάτης, 2004).

2.2 Πηγές των ρύπων

Οι ρύποι του περιβάλλοντος προέρχονται από φυσικές πηγές που περιλαμβάνουν όλες εκείνες τις φυσικές διεργασίες μέσω των οποίων απελευθερώνονται στο περιβάλλον χημικά στοιχεία. Τέτοιες διεργασίες είναι κυρίως η γεωλογική αποσάθρωση αλλά και οι εκρήξεις ηφαιστείων, οι θερμές πηγές κλπ. Κυρίως όμως οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι εκείνες που σε πολύ μεγάλο βαθμό προκαλούν τη διαφυγή στο περιβάλλον χημικών ουσιών, κατά βάση τοξικών για τον άνθρωπο και για το οικοσύστημα. Η ανθρωπογενής ρύπανση προέρχεται από δραστηριότητες βιομηχανικές, αγροτικές, μεταλλευτικές αλλά και αστικές.

2.3 Η ατμόσφαιρα της γης

Η ατμόσφαιρα της γης είναι το αέριο στρώμα που περιβάλλει τη γη και συγκρατείται από αυτή μέσω της βαρύτητας. Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει κυρίως Οξυγόνο και Άζωτο καθώς επίσης Αργό, Διοξείδιο του Άνθρακα και ίχνη διαφόρων άλλων στοιχείων. Η ογκομετρική σύνθεση του ατμοσφαιρικού αέρα δίνεται στον Πίνακα 5. Η ύπαρξη της ατμόσφαιρας είναι απαραίτητη για τη ζωή στη γη διότι απορροφά την υπερϊώδη ακτινοβολία, κατακρατά θερμότητα που εκπέμπεται από το έδαφος και με τις διάφορες λειτουργίες της καθιστά τη γη βιώσιμη για τον άνθρωπο και τους οργανισμούς.

Πίνακας 5. Σύνθεση ατμοσφαιρικού αέρα

Αέριο	Ογκομετρική Σύνθεση
Άζωτο (N ₂)	78,09
Οξυγόνο (O ₂)	20,95
Αργό (Ar)	0,93
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	0,03
Νέον (Ne)	1,8 x 10 ⁻³
Ήλιο (He)	5,24 x 10 ⁻⁴
Κρυπτόν (Kr)	1,0 x 10 ⁻⁴
Υδρογόνο (H ₂)	5,0 x 10 ⁻⁵
Ξένον (Xe)	8,0 x 10 ⁻⁶
Οζόν (O ₃)	1,0 x 10 ⁻⁶
Ραδόνιο (Rn)	6,0 x 10 ⁻¹⁸

(Πηγή: Παπαγιάννης, 2005)

Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας της γης μεταβάλλεται με το ύψος και ανάλογα με τη μεταβολή αυτή η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε 5 στρώματα τα οποία ξεκινώντας από την επιφάνεια της γης είναι η τροπόσφαιρα, η στρατόσφαιρα, η μεσόσφαιρα, η θερμόσφαιρα και η εξώσφαιρα. Η χημική σύνθεση της ατμόσφαιρας μέχρι τα 80-100 km παραμένει αμετάβλητη.

2.4 Ρύπανση της ατμόσφαιρας

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας είναι σύνθετη και διακρίνεται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Οι πρωτογενείς ρύποι εκπέμπονται απ' ευθείας στην ατμόσφαιρα από τις διάφορες πηγές ρύπων. Τέτοιοι ρύποι είναι τα αιωρούμενα σωματίδια (σκόνη, καπνός) το διοξείδιο του θείου και υδρογονάνθρακες. Οι δευτερογενείς ρύποι σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς ρύπους με χημικές αντιδράσεις στις οποίες μπορεί να συμμετέχουν η ενέργεια του ηλιακού φωτός και η υγρασία. Τέτοιοι ρύποι είναι το μονοξείδιο του αζώτου (και γενικά τα οξείδια αζώτου) και το όζον. Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι:

- Οξείδια αζώτου
- Οξείδια θείου
- Μονοξείδιο του άνθρακα
- Αμμωνία
- Μόλυβδος
- Υδρόθειο
- Χλώριο
- Υδρογονάνθρακες
- Σωματίδια (στερεά)

Πέντε από τους προαναφερόμενους ρύπους συνεισφέρουν περίπου στο 98% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6. Οι πέντε κύριοι ρύποι της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ρύπος	Αναλογία (%)
CO	52
SO _x	18
Υδρογονάνθρακες	12
Σωματίδια	10
NO _x	6

(Πηγή: Κονισπολιάτης, 2004)

Μια ακόμα ταξινόμηση των ρύπων της ατμόσφαιρας γίνεται με κριτήριο την καταστασή τους. Διαχωρίζονται έτσι σε αιωρούμενα σωματίδια και αέρια. Τα σωματίδια διαχωρίζονται σε στερεά και υγρά, ενώ τα αέρια σε ανόργανα και οργανικά (Πίν. 7).

Πίνακας 7. Κατάταξη των ρύπων

Κύρια κατανομή	Υποκατανομές	Κατηγορίες των υποκατανομών
Σωματίδια	Στερεά	Σκόνη, καπνός, καυσαέρια, ιπτάμενη τέφρα
	Υγρά	Ομίχλη, σταγονίδια υγρού
Αέρια -	Υδρογονάνθρακες	Εξάνιο, βενζόλιο, αιθυλένιο, μεθάνιο, βυτάνιο, βυταδιένιο
Οργανικά	Αλδεΐδες και κετόνες	Φορμαλδεΐδη, ασετόνη
	Άλλα οργανικά	Χλωριομένοι υδρογονάνθρακες, αλκοόλες
	Οξειδία του άνθρακα	Μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα
Αέρια -	Οξειδία του θείου	Διοξείδιο και τριοξείδιο του θείου
Ανόργανα	Οξειδία του αζώτου	Διοξείδιο και οξειδία του αζώτου
	Άλλα ανόργανα	Υδρόθειο, υδροφθόρειο, αμμωνία

Για την αξιολόγηση της αέριας ρύπανσης, στη συγκεκριμένη μελέτη, εξετάστηκαν οι επιπτώσεις από τα αιωρούμενα σωματίδια (PM-10) που παράγονται κατά τη διαδικασία εξόρυξης του λιγνίτη. Στη συνέχεια παρατίθενται η περιγραφή, οι επιδράσεις καθώς και η νομοθεσία που αφορά το συγκεκριμένο ρύπο.

2.5 Αιωρούμενα σωματίδια

Με τον όρο TSP (Total Suspended Particulate matter) χαρακτηρίζονται τα αιωρούμενα σωματίδια με εύρος μεγέθους 0,1 έως 100 μm σε διάμετρο. Τα σχήματα των σωματιδίων αυτών μπορεί να είναι διάφορα. Για να τα κατατάξουμε ανάλογα με το μέγεθος τους

χρησιμοποιούμε την αεροδυναμική τους διάμετρο, η οποία είναι η διάμετρος μιας σφαίρας με ταχύτητα πτώσης ίση με την ταχύτητα πτώσης του σωματιδίου. Τα μεγέθη που ενδιαφέρουν κυρίως στην περίπτωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κυμαίνονται από 0,1 έως 10 μm . Τα σωματίδια που έχουν μεγέθη σε αυτήν την περιοχή επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του ατμοσφαιρικού αέρα. Μπορούν να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα επειδή η ταχύτητα πτώσης τους είναι πολύ μικρή, λόγω του μικρού μεγέθους τους (για παράδειγμα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου 10 μm έχουν ταχύτητα πτώσης περίπου ίση με 29 cm/min) (Τσέζος, 1995). Οι μεγάλοι χρόνοι παραμονής τους στον ατμοσφαιρικό αέρα έχουν επίσης σαν συνέπεια τη δυνατότητα μεταφοράς τους από τις αέριες μάζες σε μεγάλες αποστάσεις. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να επηρεάσουν περιοχές που βρίσκονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις από την πηγή εκπομπής τους. Για παράδειγμα έχει αποδειχθεί ότι οι κατανομές των συγκεντρώσεων ορισμένων βαρέων μετάλλων στα νερά της μεσογείου και σε μεγάλη απόσταση από τις ακτές (ανοιχτή θάλασσα) παρουσιάζουν μέγιστες τιμές στα επιφανειακά νερά. Αυτό οφείλεται στη μεταφορά σωματιδίων που περιέχουν βαρέα μέταλλα από τις χερσαίες πηγές εκπομπής τους σε μεγάλες αποστάσεις (>1000 km) στην ανοιχτή θάλασσα μέσω της ατμόσφαιρας.

Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 10 μm περιγράφονται με τον όρο PM-10. Αυτά είναι και τα σωματίδια που μετρώνται, δεδομένου ότι αυτά προκαλούν σοβαρούς κινδύνους στην υγεία αφού μπορούν και εισχωρούν στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα (Καλιαμπάκος, 2001).

2.5.1 Πηγές

Ανάλογα με την προέλευση τους διακρίνονται διάφορες κατηγορίες σωματιδίων. Στερεά σωματίδια που προέρχονται από διαδικασίες θραύσης ή κονιοποίησης υλικών (σκόνες). Στερεά σωματίδια που προέρχονται από μετατροπή αέριας φάσης σε στερεή κατά τη συμπύκνωση της αέριας φάσης λόγω της ψύξης της στην ατμόσφαιρα (η αέρια φάση κατά την εκπομπή της στην ατμόσφαιρα, έχει υψηλή θερμοκρασία.). Σωματίδια με κύριο χαρακτηριστικό τη μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα (καπνός και αιθάλη) από τις διάφορες ατελείς καύσεις (Τσέζος, 1995). Εκπομπές τέτοιων σωματιδίων έχουμε συνήθως από την εξόρυξη πετρωμάτων, τη μεταφορά τους, την επεξεργασία προϊόντων και από ατελείς καύσεις καυσίμων με μεγάλο ποσοστό αδρανών που οδηγεί στην παραγωγή τέφρας (όπως ο λιγνίτης). Η σκόνη που εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της καύσης, προκύπτει σχεδόν εξ ολοκλήρου από το ορυκτό μέρος των καυσίμων. Ένα μικρό ποσοστό

της σκόνης μπορεί να αποτελείται από μικρά μόρια που διαμορφώνονται από τη συμπύκνωση των ενώσεων που εξατμίζονται κατά τη διάρκεια της καύσης. Ο τύπος διαδικασίας καύσης που χρησιμοποιείται έχει ιδιαίτερη επίδραση στο ποσοστό της τέφρας που παρασύρεται στην εκπομπή των αέριων ρύπων (European Commission, 2003). Τα μικροσωματίδια έχοντας σαν πηγές διάφορους παράγοντες όπως η εξόρυξη που προαναφέρθηκε, η κατασκευή δρόμων, οι κάθε είδους εκσκαφές ή ακόμα και το κάπνισμα όταν αφορά το περιβάλλον σε εσωτερικούς χώρους, είναι δύσκολο να αποτιμηθούν αυτά καθώς και οι επιπτώσεις τους στην υγεία.

2.5.2 Επιπτώσεις από τις εκπομπές μικροσωματιδίων

Οι επιπτώσεις από τα μικροσωματίδια αντανακλώνται κυρίως στην ανθρώπινη υγεία και ιδιαίτερα εφόσον δρουν και υπό την παρουσία άλλων χημικών ενώσεων όπως τα θειικά και συνοψίζονται στον Πίνακα 8. Επίσης είναι πιθανό να υπάρχουν υπό τη μορφή μικροσωματιδίων και βαρέα μέταλλα που είναι αρκετά επιβλαβή για την υγεία (WHO, 2000).

Πίνακας 8. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από PM-10

Συγκέντρωση (μg/m ³)	Συνοδευόμενα από	Χρόνος έκθεσης	Επίπτωση
750	715 μg/m ³ SO ₂	24h κατά μέσο όρο	Σημαντική αύξηση σε ασθένειες
300	630 μg/m ³ SO ₂	24h κατά μέσο όρο	Οξείες χρόνιες βρογχίτιδες
200	250 μg/m ³ SO ₂	24h κατά μέσο όρο	Αύξηση χαμένων εργατωρών
100-130	120 μg/m ³ SO ₂	Ετήσιος μέσος	Πιθανή αύξηση αναπνευστικών ασθενειών στα παιδιά
100	Βαθμός θειίκωσης άνω 30mg/cm ² /mo	Ετήσιος γεωμετρικός μέσος	Πιθανή αύξηση των θανάτων για ηλικίες άνω των 50 ετών
80-100	Βαθμός θειίκωσης άνω 30mg/cm ² /mo	2 ετών γεωμετρικός μέσος	Αύξηση των θανάτων για ηλικίες άνω των 50 ετών

(Πηγή: WHO, 2000)

Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Η κατηγορία αυτή των σωματιδίων επηρεάζει το αναπνευστικό σύστημα. Τα μεγαλύτερα σωματίδια παγιδεύονται στη ρινική κοιλότητα αλλά τα μικτότερα μπορούν να φθάσουν στους πνεύμονες. Αυξημένες συγκεντρώσεις σωματιδίων στην ατμόσφαιρα και συνύπαρξη

οξειδίων του θείου έχουν συνεργιστική δράση και έχουν συνδεθεί με ένα αριθμό αναπνευστικών προβλημάτων όπως άσθμα, βρογχίτιδα, πνευμονία κλπ. Μερικά σωματίδια είναι επικίνδυνα διότι έχουν αυξημένη τοξικότητα. Πολλά σωματίδια που περιέχουν Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons PAHs) έχουν καρκινογόνο δράση.

Οι περισσότερες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στην επίδραση που ασκούν τα σωματίδια μαζί με θειικό οξύ. Έχει αποδειχθεί ότι εισπνοή σκόνης με συγκέντρωση θειικού οξέος έως $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ δεν επιφέρει καμία αλλαγή στο αναπνευστικό σύστημα ακόμα και αν υπάρχει πολύωρη έκθεση. Εμφάνιση προβλημάτων με την εκδήλωση βήχα έχει διαπιστωθεί για συγκεντρώσεις $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ή ακόμα και $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για 2ωρη έκθεση. Οι ασθματικοί είναι πιο ευαίσθητοι στην έκθεση σε μικροσωματίδια (WHO, 2000). Η αποτίμηση των επιπτώσεων είναι δύσκολη για τα μικροσωματίδια λόγω της μη ύπαρξης πολλών μελετών για αυτά ή ακόμα και αντιφατικών αποτελεσμάτων σε μελέτες ειδικά όταν αφορά τους ασθματικούς (WHO, 2000).

Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι ακόμα και βραχυπρόθεσμη έκθεση σε μικροσωματίδια μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας ακόμα και για μικρές συγκεντρώσεις (κάτω των $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Όμως δεν υπάρχουν δεδομένα ώστε να μπορεί να διευθετηθεί ένα κατώτατο όριο κάτω από το οποίο δεν εμφανίζονται επιπτώσεις. Επίσης τα αποτελέσματα έχουν δείξει ότι η μακροχρόνια έκθεση σε μικροσωματίδια ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις συνδέεται με τη θνησιμότητα και άλλα χρόνια αποτελέσματα όπως τα αυξανόμενα ποσοστά βρογχίτιδας (WHO, 2000).

Βραχυπρόθεσμη έκθεση

Στη βραχυχρόνια έκθεση εκτός από τα σωματίδια PM-10 σημαντικό ρόλο παίζουν και τα σωματίδια PM-2,5. Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Υγείας δεν υπάρχουν πολλές έρευνες για τη βραχυχρόνια έκθεση όμως από τα υπάρχοντα αποτελέσματα φαίνεται ότι και μια μεταβολή στη συγκέντρωση των $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ μπορεί να επιφέρει επιδείνωση στην υγεία, στο βήχα, στις εισαγωγές στο νοσοκομείο από αναπνευστικά προβλήματα ακόμα και στη θνησιμότητα. Βέβαια δεν είναι γνωστό ποια είναι η μείωση της υπολογιζόμενης διάρκειας ζωής γιατί σε αυτό παίζει σημαντικό ρόλο η προϋπάρχουσα κατάσταση της υγείας και η ηλικία (WHO, 2000).

Μακροχρόνια έκθεση

Για τη μακροχρόνια έκθεση υπάρχουν περισσότερες μελέτες, οι οποίες και δείχνουν ότι ο

κίνδυνος από τα σωματίδια είναι μεγαλύτερος όταν υπάρχει έκθεση για μεγάλο διάστημα. Σημαντικό ρόλο παίζουν και οι συγκεντρώσεις των άλλων ουσιών που μπορεί να υπάρχουν όπως τα θειικά. Η επίπτωση στη συνολική θνησιμότητα λόγω της μακροπρόθεσμης έκθεσης σε μικροσωματίδια μπορεί να υπολογιστεί. Ο αριθμός των ατόμων μιας ορισμένης ηλικίας που επιβιώνουν θα είναι μικρότερος σε έναν πληθυσμό που εκτίθεται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις, και η διαφορά θα εξαρτηθεί από την ομάδα ηλικίας (WHO, 2000).

Κατευθυντήριες γραμμές

Υπάρχουν αρκετά δεδομένα και μελέτες για τη μακροχρόνια έκθεση ώστε να διαφανεί η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης και των επιπτώσεων στην υγεία. Όμως ο μεγαλύτερος όγκος των στοιχείων έχει μετρήσεις με σωματίδια ως PM-10 οπότε δεν μπορούν να υπάρξουν συγκεκριμένες τιμές που να καθορίζουν όρια αφού θα πρέπει να υπάρξουν στοιχεία και για τα PM-2,5. Για την ημερήσια έκθεση τα αποτελέσματα στη θνησιμότητα, τις αναπνευστικές και καρδιαγγειακές εισαγωγές σε νοσοκομείο καθώς επίσης και άλλες μεταβολές στην υγεία έχουν παρατηρηθεί σε επίπεδα και κάτω των $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, που εκφράζεται ως ημερήσια μέση συγκέντρωση PM-10. Όμως δεν μπορεί να καθιερωθεί ένα κατώτατο όριο. Μερικές μελέτες έχουν προτείνει ότι η μακροπρόθεσμη έκθεση στα μικροσωματίδια συνδέεται με τη μείωση της υπολογιζόμενης διάρκειας ζωής. Άλλες πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι η επικράτηση των συμπτωμάτων βρογχίτιδας στα παιδιά, και της μειωμένης λειτουργίας των πνευμόνων στα παιδιά και στους ενήλικους συνδέονται με την έκθεση σε μικροσωματίδια. Αυτά τα αποτελέσματα έχουν παρατηρηθεί σε ετήσια μέσα επίπεδα συγκέντρωσης κάτω από $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (για PM-2,5) ή $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (για PM-10). Όμως καμία από αυτές τις συγκεντρώσεις δεν προτείνεται σαν όριο (WHO, 2000).

Επιπτώσεις στο περιβάλλον και τα δομικά υλικά

Οι επιπτώσεις από τα μικροσωματίδια στο περιβάλλον και τα δομικά υλικά δεν είναι μεγάλες σε σχέση και με τους υπόλοιπους αέριους ρύπους που προκαλούν χημικές αντιδράσεις. Οι επιπτώσεις προέρχονται από τη βροχή είτε σε μακρινές αποστάσεις από την πηγή λόγω της πιθανής μεταφοράς των μικροσωματιδίων σε μεγάλη απόσταση ή και τοπικά όταν τα μικροσωματίδια ξεπλένονται από την ατμόσφαιρα και μπορεί να επηρεάσουν τις καλλιέργειες και τις επιφάνειες των κτηρίων. Οι επιπτώσεις είναι ορατές όταν προκαλούνται ζημιές στις καλλιέργειες και επειδή συνήθως απαιτείται συχνότερο

βάψιμο των επιφανειών των κτηρίων.

2.6 Νομοθεσία

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, έχουν εκδοθεί νομοθετικές διατάξεις με σκοπό τον περιορισμό των επιπέδων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων έτσι ώστε να μην προκαλούνται προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία αλλά και σε κάθε είδους δραστηριότητα. Συγκεκριμένα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, και κατ' επέκταση στην Ελλάδα, το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τα αιωρούμενα σωματίδια εισπνεύσιμου κλάσματος είναι η Οδηγία 1999/30/ΕΚ του Συμβουλίου, η οποία αναφέρει τα εξής:

1. Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα προκειμένου να εξασφαλίσουν ότι οι συγκεντρώσεις PM-10 στον αέρα του περιβάλλοντος, δεν υπερβαίνουν τις οριακές τιμές που αναφέρονται στον Πίνακα 9 σύμφωνα και με τις καθοριζόμενες στον πίνακα αυτό ημερομηνίες. Τα περιθώρια ανοχής που καθορίζονται στον Πίνακα 9, εφαρμόζονται σύμφωνα με το άρθρο 8 της οδηγίας 96/62/ΕΚ.
2. Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν ότι έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν σταθμοί μέτρησης για την παροχή στοιχείων σχετικά με τις συγκεντρώσεις PM-2,5. Ο αριθμός και η θέση των σταθμών μέτρησης PM- 2,5 επιλέγονται απ' τα κράτη μέλη, ώστε τα στοιχεία να είναι αντιπροσωπευτικά των συγκεντρώσεων PM-2,5 εντός του κράτους μέλους αυτού. Ει δυνατόν, τα σημεία δειγματοληψίας πρέπει να συνδυάζονται με σημεία δειγματοληψίας για τα PM-10. Τα κράτη μέλη διαβιβάζουν ετησίως στην Επιτροπή, εντός εννέα μηνών μετά το τέλος κάθε έτους, τον αριθμητικό μέσο, το διάμεσο, το 98ο εκατοστημόριο και τη μέγιστη συγκέντρωση που υπολογίζεται απ' τις μετρήσεις PM-2,5 επί 24 ώρες εντός του έτους αυτού. Αυτά συνάδουν με την απόφαση 97/101/ΕΚ του Συμβουλίου, της 27ης Ιανουαρίου 1997, για την καθιέρωση διαδικασίας για την αμοιβαία ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων που προέρχονται απ' τα δίκτυα και τους μεμονωμένους σταθμούς μετρήσεων της ρυπάνσεως του αέρα του περιβάλλοντος στα κράτη μέλη.
3. Τα σχέδια δράσης για τα PM-10 που καταρτίζονται σύμφωνα με το άρθρο 8 της οδηγίας 96/62/ΕΚ και οι γενικές στρατηγικές για τη μείωση των συγκεντρώσεων PM-10, αποσκοπούν επίσης στη μείωση των συγκεντρώσεων PM- 2,5.
4. Όταν σημειώνεται υπέρβαση των οριακών τιμών για τα PM-10 που αναφέρονται στον Πίνακα 9 λόγω συγκεντρώσεων PM-10 στον αέρα του περιβάλλοντος,

οφειλομένων σε φυσικά φαινόμενα, η υπέρβαση δε αυτή συνεπάγεται συγκεντρώσεις υπερβαίνουσες σημαντικά τα συνήθη βασικά επίπεδα από φυσικές πηγές, τα κράτη μέλη ενημερώνουν την Επιτροπή σύμφωνα με το άρθρο 11 παράγραφο 1 της οδηγίας 96/62/EK και παρέχουν την αναγκαία αιτιολόγηση ώστε να αποδεικνύεται ότι οι υπερβάσεις αυτές οφείλονται σε φυσικά φαινόμενα. Στις περιπτώσεις αυτές, τα κράτη μέλη υποχρεώνονται να εφαρμόζουν σχέδια δράσης σύμφωνα με το άρθρο 8 παράγραφο 3 της οδηγίας 96/62/EK, μόνον όταν οι οριακές τιμές που αναφέρονται στον Πίνακα 9 σημειώνουν υπέρβαση οφειλόμενη σε άλλες αιτίες, εκτός των φυσικών φαινομένων.

5. Τα κράτη μέλη δύνανται να ορίζουν ζώνες ή οικισμούς εντός των οποίων οι οριακές τιμές για τα PM-10 που αναφέρονται στον Πίνακα 9 σημειώνουν υπέρβαση λόγω συγκεντρώσεων PM-10 στον αέρα του περιβάλλοντος, οφειλόμενων στην επαναιώρηση σωματιδίων μετά την χειμερινή επίστρωση των οδών με άμμο. Τα κράτη μέλη διαβιβάζουν στην Επιτροπή κατάλογο αυτών των ζωνών οικισμών, συνοδευόμενο από πληροφορίες για τις εντός αυτών συγκεντρώσεις και πηγές PM-10. Όταν ενημερώνουν την Επιτροπή σύμφωνα με το άρθρο 11 παράγραφο 1 της οδηγίας 96/62/EK, τα κράτη μέλη παρέχουν την αναγκαία αιτιολόγηση, ώστε να αποδεικνύεται ότι οι υπερβάσεις αυτές οφείλονται στα επαναιωρούμενα αυτά σωματίδια και ότι έχουν ληφθεί εύλογα μέτρα για τη μείωση των συγκεντρώσεων. Εντός αυτών των ζωνών οικισμών, τα κράτη μέλη υποχρεούνται να εφαρμόζουν σχέδια δράσης σύμφωνα με το άρθρο 8 παράγραφο 3 της οδηγίας 96/62/EK, μόνον όταν οι οριακές τιμές που αναφέρονται στον Πίνακα 9 σημειώνουν υπέρβαση λόγω επιπέδων PM-10 μη οφειλομένων στη χειμερινή επίστρωση των οδών με άμμο.

Πίνακας 9. Οριακές Τιμές για τα PM-10

	Περίοδος αναφοράς για τον υπολογισμό του μέσου όρου	Οριακή Τιμή	Περιθώριο Ανοχής	Προθεσμία συμμόρφωσης προς την οριακή τιμή
Στάδιο 1				
1. 24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 Ωρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 35 φορές ανά ημερολογιακό έτος	50% κατά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας μειούμενο από 1 ^{ης} Ιανουαρίου 2001 και κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσιο ετήσιο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1 ^η Ιαν. 2005	1 ^η Ιανουαρίου 2005
2. Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό Έτος	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20% κατά την έναρξη ισχύος της παρούσας οδηγίας μειούμενο από 1 ^{ης} Ιανουαρίου 2001 και κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσιο ετήσιο ποσοστό ώστε να φτάσει το 0% την 1 ^η Ιαν. 2005	1 ^η Ιανουαρίου 2005
Στάδιο 2				
1. 24ωρη οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	24 Ωρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 7 φορές ανά ημερολογιακό έτος	Θα υπολογιστεί βάσει δεδομένων και θα είναι ισοδύναμο με την οριακή τιμή του σταδίου 1	1 ^η Ιανουαρίου 2010
2. Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας	Ημερολογιακό Έτος	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50% την 1 ^η Ιανουαρίου 2005 μειούμενο κατόπιν κάθε 12 μήνες κατά ίσο ετήσιο ποσοστό, ώστε να φθάσει το 0% την 1 ^η Ιανουαρίου 2010	1 ^η Ιανουαρίου 2010

(Πηγή: ΟΔΗΓΙΑ 1999/30/ΕΚ)

Τα ανώτερα και τα κατώτερα όρια εκτίμησης για το PM-10 (Πίν. 10) βασίζονται στις ενδεικτικές οριακές τιμές για την 1^η Ιανουαρίου 2010. Συγκεκριμένα για τον προσδιορισμό της υπέρβασης του ανώτερου και κατώτερου ορίου εκτίμησης αναφέρονται στην οδηγία τα εξής:

«Η υπέρβαση του ανώτερου και κατώτερου ορίου εκτίμησης προσδιορίζεται με βάση τις συγκεντρώσεις των προηγούμενων πέντε ετών, εάν υπάρχουν επαρκή δεδομένα. Κρίνεται ότι έχει σημειωθεί υπέρβαση του ορίου εκτίμησης, εάν ο συνολικός αριθμός υπερβάσεων της αριθμητικής τιμής της συγκέντρωσης του ορίου, κατά τη διάρκεια των τελευταίων πέντε ετών, είναι υπερτριπλάσιο του αριθμού υπερβάσεων που επιτρέπονται ετησίως. Όταν υπάρχουν στοιχεία για λιγότερα από πέντε έτη, τα κράτη μέλη, προκειμένου να προσδιορίζουν τις υπερβάσεις του ανώτατου και του κατώτατου ορίου εκτίμησης, δύνανται να συνδυάζουν εκστρατείες μέτρησης σύντομης διάρκειας, κατά την περίοδο του έτους και σε σημεία που ενδέχεται να αντιπροσωπεύουν τα υψηλότερα επίπεδα ρύπανσης, με στοιχεία που προέρχονται από αρχεία εκπομπών και από τεχνική προσομοίωση.»

Πίνακας 10. Ανώτερα και κατώτερα όρια εκτίμησης για τα PM-10

	Μέση Τιμή 24ώρου	Ετήσια μέση τιμή
Ανώτερο όριο εκτίμησης	60% της οριακής τιμής (30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, των οποίων δεν πρέπει αν σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 7 φορές ανά ημερολογιακό έτος)	70% της οριακής τιμής (14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Κατώτερο όριο εκτίμησης	40% της οριακής τιμής (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, των οποίων δεν πρέπει αν σημειώνεται υπέρβαση περισσότερες από 7 φορές ανά ημερολογιακό έτος)	50% της οριακής τιμής (14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

(Πηγή: ΟΔΗΓΙΑ 1999/30/ΕΚ)

2.7 Μαθηματικά μοντέλα ατμοσφαιρικής διασποράς

Ένα ατμοσφαιρικό μοντέλο, είναι ένα σύστημα εξισώσεων, το οποίο χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις φυσικές και χημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται στην ατμόσφαιρα. Στόχος του ατμοσφαιρικού μοντέλου είναι η μαθηματική περιγραφή της χωρικής και χρονικής κατανομής των ατμοσφαιρικών ρύπων. Ο όρος μοντέλο χρησιμοποιείται για να δηλώσει τη χρήση κάποιας θεωρητικής προσέγγισης για τον υπολογισμό των ζητούμενων παραμέτρων, σε αντιπαράθεση με τις μετρήσεις οι οποίες αποτελούν τον πειραματικό τρόπο προσδιορισμού της ίδιας ποσότητας. Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, συνέδεσε την έννοια του μοντέλου με τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή για την πραγματοποίηση των απαραίτητων υπολογισμών (Μελάς, 2007).

Η ανάπτυξη των μοντέλων ατμοσφαιρικής διασποράς ξεκίνησε τη δεκαετία του 1930 και η μορφή τους αναπτύχθηκε σταδιακά τις δεκαετίες που ακολούθησαν. Μια από τις παλιότερες εξισώσεις για τον υπολογισμό της διασποράς πλουμίου διατυπώθηκε από τους Bosanquet και Pearson, και δε θεωρούσε ότι η διασπορά ακολουθούσε την αρχή του Gauss, στην οποία βασίζονται τα σημερινά μοντέλα και η οποία θεωρεί ότι η εγκάρσια, κατά κύριο λόγο, αλλά και η κατακόρυφη κατανομή των συγκεντρώσεων ρύπων που προέρχονται από μια σημειακή πηγή ακολουθούν την κανονική κατανομή (γνωστή και σαν κατανομή Gauss). Το σύστημα των εξισώσεων που βασίζεται σε αυτήν την παραδοχή και το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων από μια σημειακή πηγή λέγεται μοντέλο πλουμίου του Gauss (Gaussian plume model). Ως πλούμιο ορίζεται ένα αναγνωρίσιμο ρεύμα αέρα του οποίου η σύσταση διαφέρει από την αντίστοιχη του περιβάλλοντος.

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες η αυστηρή νομοθεσία και η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών συνέβαλαν στην ανάπτυξη πολλών μοντέλων υπολογισμού της διασποράς αερίων ρύπων (Μελάς, 2007). Σήμερα τα μοντέλα ατμοσφαιρικής διασποράς χρησιμοποιούνται για λόγους όπως η εκτίμηση και πρόβλεψη των συγκεντρώσεων διάφορων ρύπων λόγω της κυκλοφορίας οχημάτων, για την τήρηση των προτύπων ποιότητας του αέρα σε υπάρχουσες και προτεινόμενες βιομηχανικές μονάδες καθώς επίσης και από κυβερνητικούς οργανισμούς για την προστασία και διαχείριση της ποιότητας του αέρα.

2.7.1 Τύποι μοντέλων ατμοσφαιρικής διασποράς

Σύμφωνα με τη μέθοδο μοντελοποίησης της διασποράς, τα μοντέλα ατμοσφαιρικής διασποράς κατηγοριοποιούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Τα Γκαουσιανά μοντέλα (ή μοντέλα πλουμίου του Gauss) είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη προσέγγιση για τον υπολογισμό της διασποράς αδρανών ρύπων, ιδιαίτερα για ρυθμιστικούς σκοπούς. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας μοντέλων είναι η απλότητα στη χρήση και οι περιορισμένες απαιτήσεις σε στοιχεία εισαγωγής (Μελάς, 2007).
- Τα αριθμητικά μοντέλα (numerical models) χρησιμοποιούν ένα σύστημα εξισώσεων οι οποίες βασίζονται στις βασικές αρχές διατήρησης της ορμής, της ενέργειας και της μάζας. Για την επίλυση αυτών των εξισώσεων χρησιμοποιούνται αριθμητικές μέθοδοι (από εκεί προέρχεται και το όνομα αυτής της κατηγορίας των μοντέλων). Τα αριθμητικά μοντέλα είναι περισσότερο κατάλληλα για χρήση σε περιπτώσεις

πολύπλοκων συνθηκών (εμβαδικές πηγές σε αστικές περιοχές, περιοχές με έντονο ανάγλυφο, πολύπλοκες μετεωρολογικές συνθήκες κλπ.) αλλά έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε δεδομένα εισόδου και υπολογιστική δύναμη. Αποτελούν πολύ χρήσιμα εργαλεία για ερευνητικές δραστηριότητες αλλά η χρήση τους σε επιχειρησιακή βάση είναι πολύ περιορισμένη (Μελάς, 2007).

- Τα φυσικά μοντέλα (physical models) βασίζονται σε μικρής κλίμακας αναπαραστάσεις των φαινομένων σε εργαστήρια (αεροσύρραγγες, δεξαμενές νερού κλπ). Έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε εργαστηριακές εγκαταστάσεις και εξοπλισμό αλλά μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε μελέτες φαινομένων και επιδράσεων μικρής κλίμακας (π.χ. επίδραση κτιρίων στη διασπορά ατμοσφαιρικών ρύπων) (Μελάς, 2007).
- Τα στατιστικά μοντέλα (statistical models) βασίζονται συνήθως σε ημι-εμπειρικές στατιστικές σχέσεις ανάμεσα στα επίπεδα ρύπανσης και σε άλλες μεταβλητές (π.χ. θερμοκρασία, άνεμος κλπ.) οι οποίες προσδιορίζονται από υπάρχουσες χρονοσειρές δεδομένων στην περιοχή ενδιαφέροντος. Τα στατιστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει πλήρης κατανόηση των φυσικών και χημικών διεργασιών ή υπάρχει έλλειψη των απαραίτητων βάσεων δεδομένων για τη χρήση αριθμητικών ή Γκαουσιανών μοντέλων. Το μεγάλο πλεονέκτημά τους είναι η απλότητα και η ευκολία στη χρήση. Σε πολλές περιπτώσεις η ακρίβειά τους είναι συγκρίσιμη με αυτή άλλων περισσότερο πολύπλοκων προσεγγίσεων (Μελάς, 2007).

2.7.2 Σύντομη περιγραφή της δομής ενός μοντέλου ατμοσφαιρικής διασποράς

Η συνήθης δομή ενός μοντέλου διασποράς περιλαμβάνει τρία βασικά τμήματα τα οποία έχουν να κάνουν με τη σειρά και την οργάνωση των εισαχθέντων δεδομένων, τα οποία είναι απαραίτητα για την επίλυση των εξισώσεων. Σε ένα απλό μοντέλο διασποράς ζητούνται δεδομένα για τα εξής:

- Εκπομπές
- Μετεωρολογία
- Αποδέκτες

Για τις εκπομπές συνήθως ζητούνται δεδομένα για τις συντεταγμένες της πηγής, τη γεωμετρία της πηγής, την ταχύτητα εξόδου των ρύπων, το ρυθμό εκπομπής, τη θερμοκρασία των ρύπων, τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά τους κ.ά. Η πηγή της εκπομπής μπορεί να είναι σημειακή, γραμμική, όγκου και επιφάνειας. Ένα μοντέλο μπορεί

να υπολογίσει τη διασπορά των ρύπων που προέρχονται από περισσότερες από μία πηγές. Για τη μετεωρολογία συνήθως ζητούνται δεδομένα για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου, τις συνθήκες ευστάθειας, τη θερμοκρασία, το ύψος ανάμιξης, το βαθμό υγρασίας του περιβάλλοντος, το βαθμό νέφωσης κ.ά. Για τους αποδέκτες ζητούνται οι συντεταγμένες και το ύψος τους.

Τα στοιχεία που εισάγονται, χρησιμοποιούνται από το μοντέλο διασποράς για την προσομοίωση των φυσικών και χημικών διεργασιών στην ατμόσφαιρα. Ο χρόνος εκτέλεσης ενός απλού μοντέλου διασποράς σε έναν υπολογιστή είναι γενικά πολύ μικρός και τα αποτελέσματα είναι οι ωριαίες συγκεντρώσεις των ρύπων σε προεπιλεγμένα σημεία (αποδέκτες). Σε μια απλή έκδοση ενός μοντέλου τα αποτελέσματα εμφανίζονται στη μορφή πινάκων.

2.8 Γκαουσιανά μοντέλα ατμοσφαιρικής διασποράς

2.8.1 Κανονική κατανομή (κατανομή Gauss)

Η κανονική κατανομή αποτελεί το πλέον χρησιμοποιούμενο πρότυπο κατανομής διότι περιγράφει με επιτυχία αρκετά φαινόμενα τα οποία εξαρτώνται από τυχαίες συνεχείς μεταβλητές. Η μαθηματική περιγραφή της κανονικής κατανομής δίνεται από τη σχέση:

$$y = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}}$$

όπου: σ η τυπική απόκλιση

M η μέση τιμή

N ο συνολικός αριθμός παρατηρήσεων

Οι κύριες ιδιότητες της κανονικής κατανομής είναι οι παρακάτω :

- Η κανονική κατανομή είναι συμμετρική και η μέση τιμή, η επικρατούσα τιμή και η διάμεσος συμπίπτουν.
- 68% των παρατηρήσεων βρίσκονται στο διάστημα μεταξύ $M - \sigma$ και $M + \sigma$ ενώ 95% των παρατηρήσεων βρίσκονται στο διάστημα $M - 2\sigma$ και $M + 2\sigma$.
- Η κανονική κατανομή ορίζεται πλήρως από τις παραμέτρους M και σ . Διαφορετικοί συνδυασμοί των M και σ καθορίζουν διαφορετικές κανονικές κατανομές. Διαφορετικές τιμές του M μετακινούν την καμπύλη της κατανομής κατά μήκος του άξονα των x και διαφορετικές τιμές του σ προσδιορίζουν τη μορφή της καμπύλης.

- Το άθροισμα (ή η διαφορά) δύο ανεξάρτητων κανονικών κατανομών είναι επίσης κανονική κατανομή.

Η κανονική κατανομή χρησιμοποιείται στην περιγραφή της εγκάρσιας και της κατακόρυφης κατανομής των συγκεντρώσεων σε ένα πλούμιο (Μελάς, 2007).

2.8.2 Οι εξισώσεις του Gauss

Η εξίσωση για τη διασπορά από σημειακή πηγή μέσα σε ανισότροπο χώρο κατά την οποία οι ρύποι ακολουθούν τις κινήσεις της ατμόσφαιρας χωρίς να αποτίθενται στην επιφάνεια της γης ή να υπόκεινται σε χημικούς μετασχηματισμούς είναι η ακόλουθη:

$$\frac{C}{Q} = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right] \quad (2.1.)$$

όπου : C (x,y,z) η συγκέντρωση του ρύπου στο σημείο (x,y,z)

Q ο ρυθμός εκπομπής του ρύπου

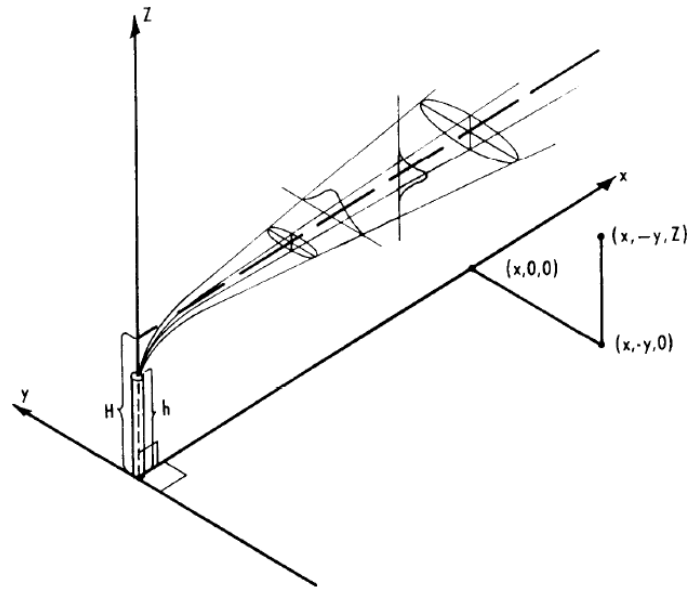
u η ταχύτητα του ανέμου

σ_y ο συντελεστής διασποράς της εγκάρσιας κατανομής της συγκέντρωσης (συνάρτηση της απόστασης x από την πηγή και της επικρατούσας ευστάθειας)

σ_z ο συντελεστής διασποράς της κατακόρυφης κατανομής της συγκέντρωσης (συνάρτηση της απόστασης x από την πηγή και της επικρατούσας ευστάθειας)

Οι συντελεστές διασποράς σ_y και σ_z δίνονται από τους τύπους:

$$2\sigma_y^2 = \frac{4k_y x}{u} \quad 2\sigma_z^2 = \frac{4k_z x}{u} \quad (2.2.)$$



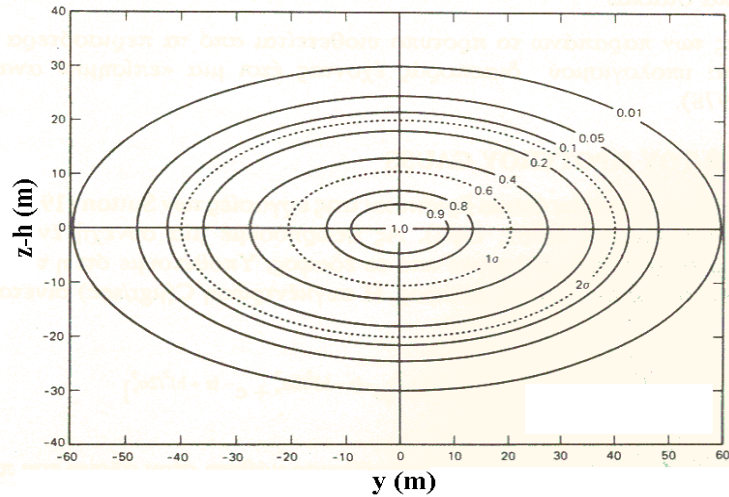
Σχήμα 4. Η κατανομή των συγκεντρώσεων σε ένα πλούμιο Gauss (Πηγή: Μελάς, 2007)

Η εξίσωση 2.1 δίνει τις συγκεντρώσεις του ρύπου (Σχ.4) σε διάφορες θέσεις (x,y,z) μέσα σε απέραντο χώρο μακριά από στερεά όρια (έδαφος), όταν η πηγή έντασης Q βρίσκεται στο σημείο $(0,0,0)$. Η συγκέντρωση του ρύπου κατά μήκος του άξονα x (που ορίζεται από την πηγή και την κατεύθυνση της ταχύτητας του ανέμου) δίνεται από τη σχέση:

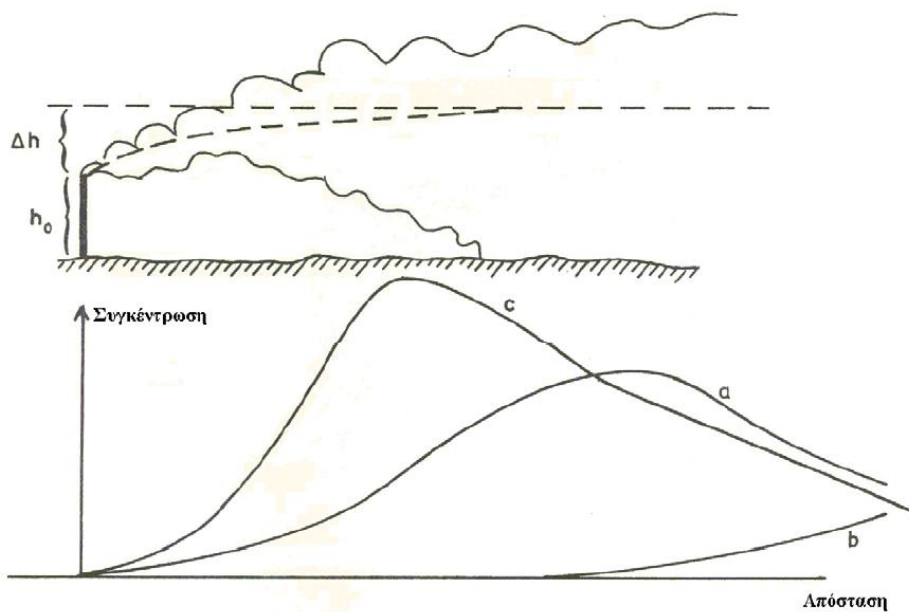
$$C_{CL}(x) = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y u} \quad (2.3)$$

όπου: ο δείκτης CL υποδηλώνει την κεντρική γραμμή του πλουμίου (central line)

Κατά μήκος του κεντρικού άξονα του πλουμίου αναμένονται οι μέγιστες συγκεντρώσεις (Σχ.5).



Σχήμα 5. Εγκάρσια τομή διαμέσου ενός πλούμιου Gauss με $\sigma_y=20\text{m}$ και $\sigma_z=20\text{m}$. Η συγκέντρωση εκφράζεται σε σχετικές μονάδες (Πηγή: Μελάς, 2007)



Σχήμα 6. Επίδραση της ατμοσφαιρικής ευστάθειας στις συγκεντρώσεις από μια ανυψωμένη πηγή. a. Ουδέτερη στρωμάτωση b. Ευσταθείς συνθήκες c. Ασταθείς συνθήκες (Πηγή: Μελάς, 2007)

Σύμφωνα με την εξίσωση 2.1 το μοντέλο του Gauss δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση που η ταχύτητα του ανέμου είναι ίση με μηδέν. Στην πραγματικότητα όμως ακόμα και στην περίπτωση που τα ανεμόμετρα δείχνουν ταχύτητα του ανέμου ίση με το μηδέν αυτό δε σημαίνει ότι ο άνεμος έχει σταματήσει εντελώς αλλά δεν μπορεί να

μετρηθεί. Γι' αυτό το λόγο η άπνοια ορίζεται, συνήθως, ως η ατμοσφαιρική κατάσταση κατά την οποία ο άνεμος είναι μικρότερος ή ίσος από 0.5 m/s (Μελάς, 2007).

2.8.3 Υπολογισμός των συντελεστών διασποράς σ_y και σ_z

Από τις εξισώσεις 2.2, για σταθερή τιμή συντελεστών τυρβώδους διάχυσης (k_y, k_z) οι συντελεστές διασποράς μεταβάλλονται με τη μεταβολή της τετραγωνικής ρίζας του x . Στην πραγματικότητα οι συντελεστές τυρβώδους διάχυσης αποτελούν συνάρτηση τόσο της κατάντη απόστασης (λόγω αλληλεπίδρασης πλουμίου και ατμόσφαιρας) αλλά και της απόστασης από το έδαφος. Έτσι οι συντελεστές διασποράς σ_y και σ_z έχουν υπολογισθεί ημιεμπειρικά με παρατηρήσεις των εγκάρσιων διαστάσεων του πλουμίου σε διάφορες αποστάσεις ή και των συγκεντρώσεων εδάφους μετά από πειράματα. Υπάρχουν διάφορες εξισώσεις για τον υπολογισμό των συντελεστών διασποράς σ_y και σ_z . Οι εξισώσεις που προτάθηκαν από τον Briggs (Πιν.11) θεωρούνται ότι παρέχουν ικανοποιητική ακρίβεια, ιδιαίτερα όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα λεπτομερειακά δεδομένα (Μπεργελές, 2006).

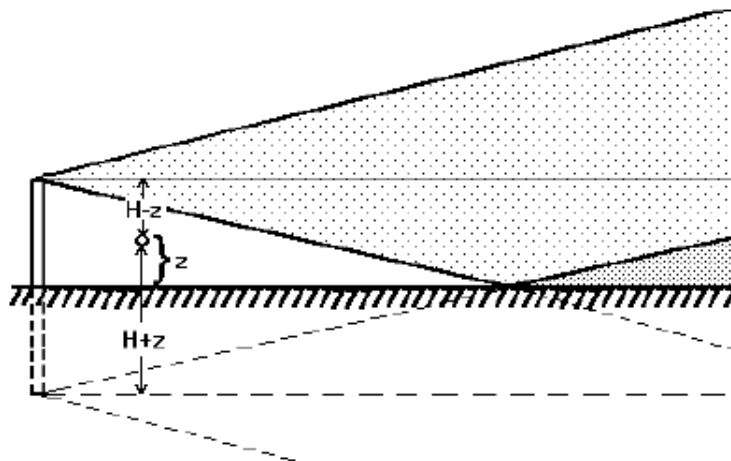
Πίνακας 11. Σχέσεις για τους συντελεστές διασποράς σ_y και σ_z κατά Briggs

Κλάση ευστάθειας κατά Pasquill	$\sigma_y(x)$ [m]	$\sigma_z(x)$ [m]
ΥΠΑΙΘΡΟΣ		
A	$0.22 \cdot x \cdot (1 + 0.0001 \cdot x)^{-1/2}$	$0.20 \cdot x$
B	$0.16 \cdot x \cdot (1 + 0.0001 \cdot x)^{-1/2}$	$0.12 \cdot x$
C	$0.11 \cdot x \cdot (1 + 0.0001 \cdot x)^{-1/2}$	$0.08 \cdot x \cdot (1 + 0.0002 \cdot x)^{-1/2}$
D	$0.08 \cdot x \cdot (1 + 0.0001 \cdot x)^{-1/2}$	$0.06 \cdot x \cdot (1 + 0.0015 \cdot x)^{-1/2}$
E	$0.06 \cdot x \cdot (1 + 0.0001 \cdot x)^{-1/2}$	$0.03 \cdot x \cdot (1 + 0.0003 \cdot x)^{-1}$
F	$0.04 \cdot x \cdot (1 + 0.0001 \cdot x)^{-1/2}$	$0.016 \cdot x \cdot (1 + 0.0003 \cdot x)^{-1}$
ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
A-B	$0.32 \cdot x \cdot (1 + 0.0004 \cdot x)^{-1/2}$	$0.24 \cdot x \cdot (1 + 0.001 \cdot x)^{1/2}$
C	$0.22 \cdot x \cdot (1 + 0.0004 \cdot x)^{-1/2}$	$0.20 \cdot x$
D	$0.16 \cdot x \cdot (1 + 0.0004 \cdot x)^{-1/2}$	$0.14 \cdot x \cdot (1 + 0.0003 \cdot x)^{-1/2}$
E-F	$0.11 \cdot x \cdot (1 + 0.0004 \cdot x)^{-1/2}$	$0.08 \cdot x \cdot (1 + 0.0015 \cdot x)^{-1/2}$

(Πηγή: Μελάς, 2007)

2.8.4 Επίδραση του εδάφους στη διασπορά από σημειακή πηγή

Η παρουσία του εδάφους περιορίζει την κατακόρυφη εξάπλωση του πλουμίου και δημιουργεί την ανάγκη προσαρμογών στη βασική εξίσωση διασποράς του Gauss. Η βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη του μοντέλου του πλουμίου του Gauss, ότι η απόθεση στην επιφάνεια της γης είναι αμελητέα, άρα τα σωματίδια της ρύπανσης μπορούν κατά κάποιο τρόπο να επιστρέψουν πάλι στην ατμόσφαιρα, εισάγει στην επίλυση μία μαθηματική μέθοδο που ονομάζεται καθρεπτισμός. Σύμφωνα με τη μέθοδο του καθρεπτισμού δημιουργείται μία εικονική πηγή σε ύψος H και υποτίθεται ότι η διασπορά από την εικονική πηγή γίνεται κατά ταυτόσημο τρόπο με τη διασπορά από την πραγματική πηγή. Το τελικό αποτέλεσμα προκύπτει από το άθροισμα των δύο πηγών. Το κομμάτι του εικονικού πλουμίου που περνάει την επιφάνεια του εδάφους είναι ακριβώς το ίδιο με το κομμάτι του πλουμίου από την πραγματική πηγή το οποίο χάνεται κάτω από το έδαφος (Μπεργελές, 2006).



Σχήμα 7. Η ανάκλαση των ρύπων στο έδαφος (Πηγή: Μελάς, 2007)

Λαμβάνοντας υπόψιν την ανάκλαση των ρύπων (Σχ.7) στο έδαφος η εξίσωση 2.1 παίρνει τη μορφή:

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-y^2/2\sigma_y^2} \left[e^{-(z-h)^2/2\sigma_z^2} + e^{-(z+h)^2/2\sigma_z^2} \right] \quad (2.4)$$

Ο πρώτος όρος της αγκύλης εκφράζει τη συμβολή της πραγματικής πηγής, ενώ ο δεύτερος τη συμβολή της κατοπτρικής πηγής.

2.8.5 Επίδραση ανυψωμένης θερμοκρασιακής αναστροφής

Κατά τη διάρκεια της ημέρας λόγω της θέρμανσης της Γης από τον ήλιο στην ατμόσφαιρα αναπτύσσονται συνθήκες μεταγωγής. Στο κάτω μέρος της ατμόσφαιρας που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος, η κατάσταση της ατμόσφαιρας είναι ασταθής με αποτέλεσμα οι ρύποι να παγιδεύονται ανάμεσα στην επιφάνεια του εδάφους και το ευσταθές στρώμα που υπάρχει ψηλότερα (Σχ. 6). Το πάχος του ασταθούς στρώματος χαρακτηρίζεται από το πάχος μίξης z_i . Πάνω από το στρώμα μίξης υπάρχει μια θερμοκρασιακή αναστροφή που χαρακτηρίζεται από την ένταση $\Delta\theta_i$.

Στην περίπτωση αυτή η εξίσωση Gauss πρέπει να τροποποιηθεί ώστε να λάβει υπόψιν της την ύπαρξη αναστροφής που λειτουργεί για τους ρυπαντές ως έδαφος με πλήρη ανακλαστικότητα. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος υποθέτονται η ύπαρξη κατοπτρικής πηγής ως προς τη θερμοκρασιακή αναστροφή αλλά και ως προς το έδαφος. Δημιουργούνται έτσι άπειρες πηγές έντασης Q που βρίσκονται στην κατακόρυφη ευθεία που διέρχεται δια της αρχικής πηγής.

Για την πρώτη ανάκλαση αναστροφής:

$$\frac{Cu}{Q} = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} e^{-y^2/2\sigma_y^2} \left[\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z-2z_i+h}{\sigma_z}\right)^2\right) + \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z+2z_i-h}{\sigma_z}\right)^2\right) \right]$$

Για το σύνολο των πηγών προκύπτει η σχέση :

$$\frac{Cu}{Q} = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot S(z)$$
$$S(z) = \sum_{j=-\infty}^{j=\infty} \left[\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z-h+2jz_i}{\sigma_z}\right)^2\right) + \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z+h-2jz_i}{\sigma_z}\right)^2\right) \right]$$

όπου: j ο αριθμός των ανακλάσεων

2.8.6 Επίδραση της βαρύτητας στη διασπορά

Σωματίδια μεγάλης διαμέτρου ($10\mu\text{m} < d_p < 50\mu\text{m}$) τα οποία μπορεί να εκπέμπονται από μία πηγή έχουν σημαντική οριακή ταχύτητα βαρυτικής κατακάθισης w_p και αυτή θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν στους υπολογισμούς διασποράς. Δεν συμβαίνει το ίδιο για τα μικρής διαμέτρου σωματίδια ($10\mu\text{m} > d_p$), τα οποία συμπεριφέρονται ως αέριοι ρύποι, λόγω της μικρής οριακής ταχύτητας βαρυτικής κατακάθισης που έχουν. Οι υπηρεσίες

περιβάλλοντος αποδέχονται την καμπύλωση του άξονα του πλουμίου ως τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος. Το μοντέλο καμπύλωσης του άξονα του πλουμίου εκφράζεται από την εξίσωση (Μπεργελές, 2006):

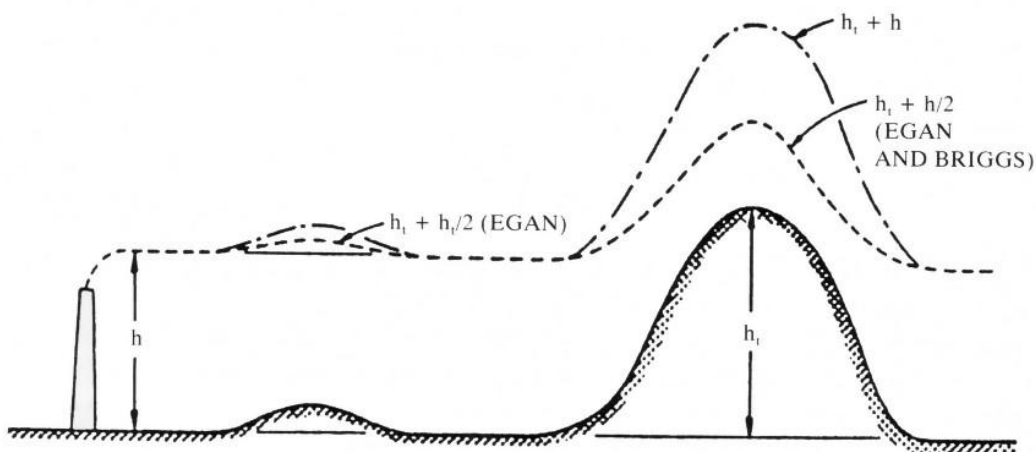
$$h_p = h - w_p x / u$$

και με αντικατάσταση στην εξίσωση 2.4 προκύπτει:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-y^2/2\sigma_y^2} \left[e^{-(z-h_p)^2/2\sigma_z^2} + e^{-(z+h_p)^2/2\sigma_z^2} \right]$$

2.8.7 Επίδραση τοπογραφίας στη διασπορά

Σε ανώμαλη τοπογραφία εδάφους η σχέση του Gauss που ισχύει για επίπεδη τοπογραφία πρέπει να τροποποιηθεί. Όταν η κλίση του εδάφους είναι μικρή η εξίσωση Gauss μπορεί να εφαρμοσθεί αν ληφθεί ότι ο άξονας του πλουμίου ακολουθεί την τοπογραφία του εδάφους. Μια ακριβέστερη εκτίμηση δίνεται από τους τύπους που ακολουθούν σε αντιπαράθεση με το Σχήμα 8.



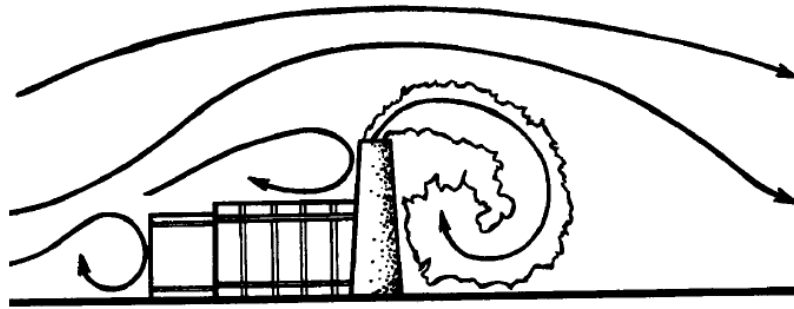
Σχήμα 8. Η θέση του άξονα του πλουμίου για ανώμαλη τοπογραφία (Πηγή: Μπεργελές, 2006)

Για $h > h_t$: $h_{eff} = h + h_t/2$ και για $h < h_t$: $h_{eff} = h_t + h/2$

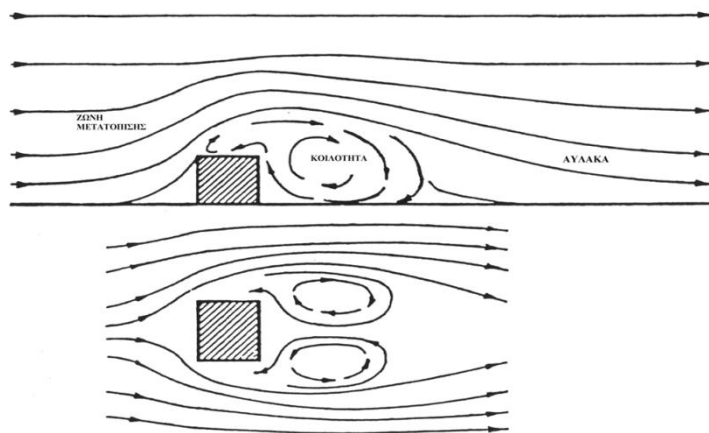
2.8.8 Επίδραση κτιρίων στη διασπορά

Στα Σχήματα 9 και 10 απεικονίζονται η επίδραση, στη ροή των καυσαερίων, της ύπαρξης ενός κτιρίου δίπλα σε μια καμινάδα καθώς και η επίδραση στο πεδίο ροής του ανέμου, της παρουσίας ενός κτηρίου. Ο αέρας εξαναγκάζεται να ανυψωθεί μπροστά και πάνω από το κτίριο ενώ στην υπήνεμη πλευρά του σχηματίζεται ένας μεγάλος στρόβιλος (κοιλότητα). Οι ρύποι που εκλύονται από την καμινάδα μεταφέρονται από το στρόβιλο χαμηλά στο

έδαφος και ένα μέρος τους επιστρέφει στην πίσω πλευρά του κτιρίου. Όταν το ύψος της καμινάδας ξεπερνάει κάποιο όριο τότε το πλούμιο ξεφεύγει από το στρόβιλο ο οποίος σχηματίζεται στην υπήνεμη πλευρά του κτιρίου και οι αρνητικές συνέπειες περιορίζονται σε μία κάθοδο του κεντρικού άξονά του λόγω της αεροδυναμικής της καμινάδας (Μελάς, 2007).



Σχήμα 9. Σχηματική παρουσίαση του πεδίου ροής γύρω από μία χαμηλή καμινάδα τοποθετημένη στην κορυφή ενός κτιρίου (Πηγή: Μελάς, 2007)



Σχήμα 10. Σχηματική αναπαράσταση του πεδίου ροής γύρω από ένα κτίριο (Πηγή: Μελάς, 2007)

Η διαμόρφωση του πεδίου ροής γύρω από ένα κτίριο εξαρτάται από τη μορφή του κτιρίου και την κατεύθυνση του ανέμου σε σχέση με τη θέση του κτιρίου. Στο σχήμα το πεδίο ροής ανέμου παρουσιάζεται σε μορφή γραμμών ροής με διεύθυνση ανέμου κάθετη προς ένα κυβικό κτίριο. Ο ομορρός του κτιρίου επεκτείνεται σε μια αρκετά μεγάλη έκταση και οποιαδήποτε εκπομπή καυσαερίων σε οποιαδήποτε θέση μέσα στον ομορρό

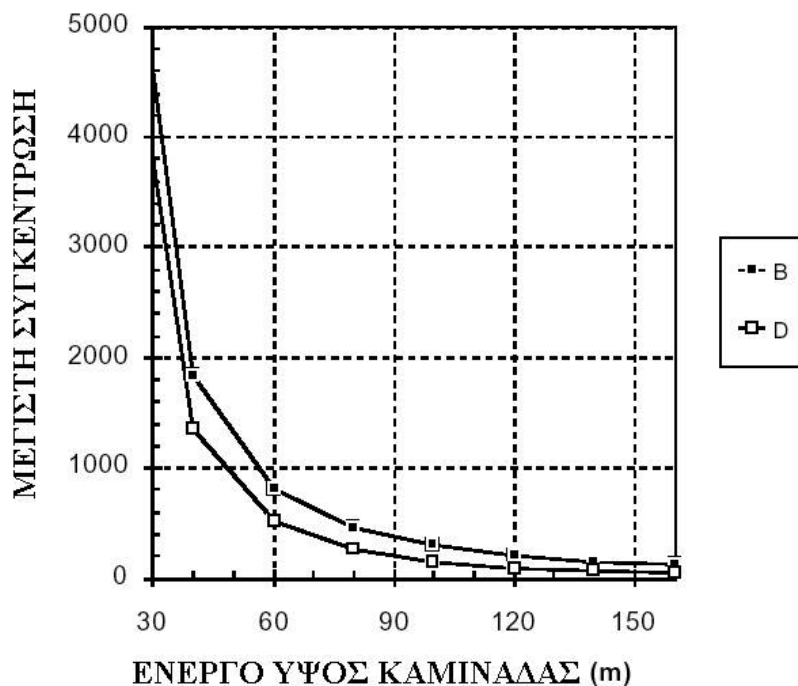
θα διατηρεί τους ρύπους εγκλωβισμένους μέσα στον ομορρού και κατ' επέκταση σε υψηλές συγκεντρώσεις εδάφους. Σε αυτήν την περίπτωση η διαφυγή των ρύπων γίνεται μόνο με τυρβώδη διάχυση και χωρίς ουσιαστική μεταφορά.

2.8.9 Ενεργό ύψος εκπομπής

Οι περισσότεροι από τους ρύπους που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα είναι αποτέλεσμα καύσης γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα η θερμοκρασία των ρύπων να είναι μεγαλύτερη από αυτήν του περιβάλλοντος. Αυτό έχει σαν συνέπεια ο καπνός να ανυψώνεται με αποτέλεσμα το ενεργό ύψος (H) της καμινάδας, να είναι μεγαλύτερο από το φυσικό της ύψος (h). Η ανύψωση του πλουμίου (plume rise) λόγω της άνωσης λέγεται θερμική ανύψωση (thermal rise). Τα αέρια όταν αφήνουν την καμινάδα έχουν μια υψηλή αρχική ταχύτητα γεγονός το οποίο επίσης συνεισφέρει στην ανύψωση του πλουμίου. Αυτή η επίδραση έχει γενικά μικρή εμβέλεια (χρόνος δράσης περίπου 30-40 δευτερόλεπτα) και είναι συνήθως δευτερεύουσας σημασίας σε σύγκριση με τη θερμική ανύψωση. Ένας εμπειρικός κανόνας λέει ότι αν η θερμοκρασία των αερίων υπερβαίνει αυτήν του αέρα με 10-15 K τότε η θερμική ανύψωση είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη λόγω της ορμής. Από την άλλη πλευρά τα αέρια τα οποία είναι βαρύτερα του ατμοσφαιρικού αέρα κατέρχονται λόγω αρνητικής άνωσης ενώ και το κατώρευμα στην υπήνεμη πλευρά της καμινάδας μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την κάθοδο του πλουμίου (Μπεργελές 2006).

Η ανύψωση του πλουμίου έχει πολύ μεγάλη σημασία στον υπολογισμό των μεγίστων συγκεντρώσεων εδάφους γιατί μπορεί να αυξήσει το ενεργό ύψος της καμινάδας και λαμβάνοντας υπόψιν ότι η μέγιστη συγκέντρωση εδάφους είναι χονδρικά αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου του ενεργού ύψους της καμινάδας το γεγονός αυτό μπορεί, να μειώσει τις συγκεντρώσεις εδάφους σε μεγάλο βαθμό. Σε αντίθεση με τη βιομηχανική ρύπανση, την οποία αφορούν κατά κύριο λόγο οι παραπάνω διαπιστώσεις, οι ρύποι που εκπέμπονται από οχήματα και κεντρικές θερμάνσεις έχουν συνήθως πολύ μικρή ανύψωση. Ειδικά για τις κεντρικές θερμάνσεις, η περιβαλλοντική επιβάρυνση των πόλεων κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι πολύ σημαντική, ιδιαίτερα για το διοξείδιο του θείου και τον καπνό που εκπέμπονται από τους καυστήρες.

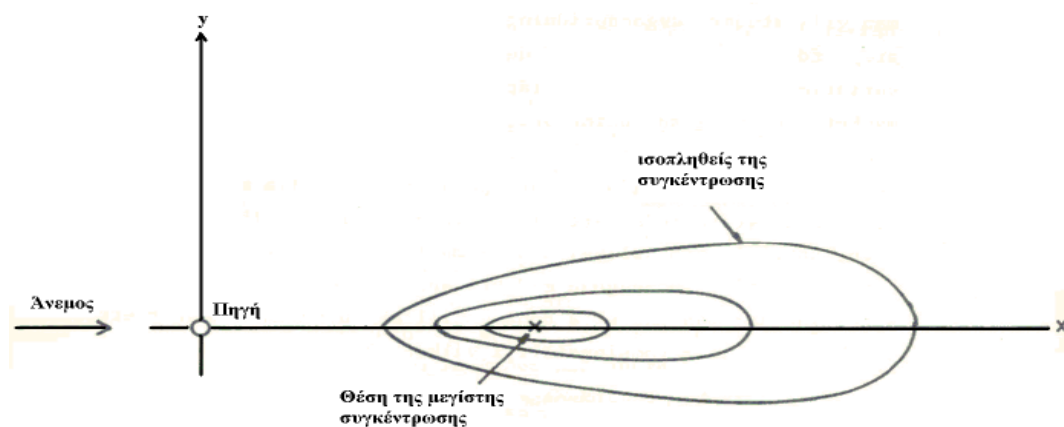
Η κατασκευή ψηλών καμινάδων καθιερώθηκε σαν η πλέον αποδεκτή λύση για τον περιορισμό της ρύπανσης μιας και οι ρύποι αναμιγνύονται με τον περιβάλλοντα αέρα και αραιώνουν πριν φθάσουν στο έδαφος (Σχ.11).



Σχήμα 11. Η επίδραση του ύψους εκπομπής στις παρατηρούμενες μέγιστες συγκεντρώσεις για δύο διαφορετικές κλάσεις ευστάθειας (Πηγή: Μελάς, 2007)

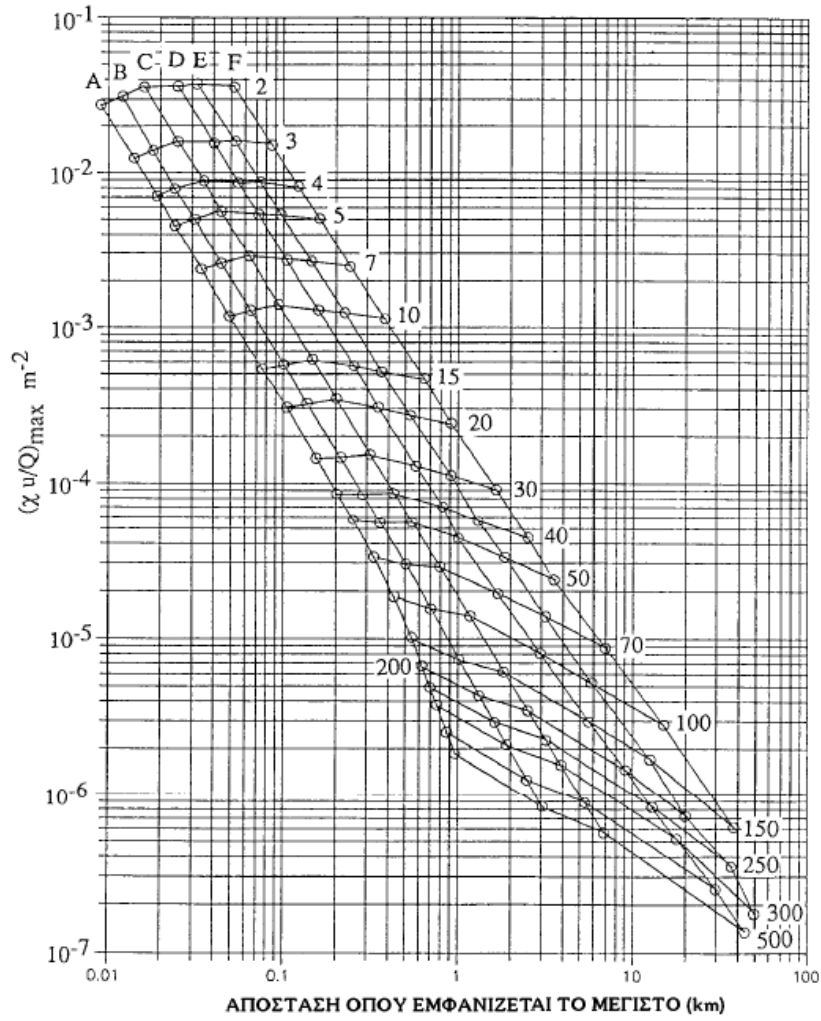
2.8.10 Μέγιστες συγκεντρώσεις εδάφους

Στο Σχήμα 12 εμφανίζονται οι συγκεντρώσεις εδάφους όπως προκύπτουν λόγω της εκπομπής από μια υπερυψωμένη πηγή. Κοντά στην πηγή οι συγκεντρώσεις είναι μηδενικές αλλά σε κάποια απόσταση από αυτήν αρχίζουν να αυξάνονται μέχρι ενός σημείου όπου εμφανίζεται ένα μέγιστο. Κατόπιν, αρχίζει η βαθμιαία μείωση των συγκεντρώσεων.



Σχήμα 12. Το πεδίο των συγκεντρώσεων εδάφους το οποίο προκύπτει από εκπομπές μίας καμινάδας (Πηγή: Μελάς, 2007)

Αν παραγωγηθεί η εξίσωση 2.1 ως προς x και τεθεί το αποτέλεσμα ίσο με μηδέν, μπορεί να βρεθεί η απόσταση στην οποία η συγκέντρωση θα είναι μέγιστη. Επειδή όμως οι συντελεστές διασποράς σ_y και σ_z είναι πολύπλοκες συναρτήσεις του x δεν είναι δυνατόν να βρεθεί μια γενική λύση στο πρόβλημα. Ο μόνος τρόπος για να βρεθεί η μέγιστη συγκέντρωση και η απόσταση στην οποία εμφανίζεται είναι να εφαρμοστεί η εξίσωση 2.1 για διάφορες αποστάσεις, εκπομπές και ατμοσφαιρικές συνθήκες. Μια γρήγορη μέθοδος για την εύρεση της μέγιστης συγκέντρωσης και της απόστασης από την πηγή στην οποία εμφανίζεται, είναι η χρήση νομογράμματος όπως αυτό που εμφανίζεται στο Σχήμα 13. Ο οριζόντιος άξονας είναι λογαριθμικός και δείχνει την απόσταση στην οποία εμφανίζεται η μέγιστη συγκέντρωση ενώ ο κάθετος άξονας είναι επίσης λογαριθμικός και δείχνει τη μέγιστη συγκέντρωση κανονικοποιημένη με το ρυθμό εκπομπής και την ταχύτητα του ανέμου (Μελάς, 2007).



Σχήμα 13. Νομόγραμμα για τον προσδιορισμό της απόστασης στην οποία εμφανίζεται η μέγιστη συγκέντρωση εδάφους (Πηγή: Μελάς, 2007)

3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Η παραγωγή και η εφαρμογή τεχνολογιών, όπως π.χ. για την ενεργειακή μετατροπή ή τη μεταφορά επιβατών και εμπορευμάτων, προκαλούν επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, τη χλωρίδα και την πανίδα, τα οικοσυστήματα και τα υλικά. Αυτές οι επιδράσεις είναι συνήθως εξωτερικότητες, δηλαδή κόστη που δεν απεικονίζονται στις τιμές των αγαθών. Αυτή η ζημιά όμως θα πρέπει να συμπεριληφθεί στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας και των μεταφορών κατά τη λήψη των αποφάσεων που αφορούν στην κατάρτιση πολιτικών. Ένας άμεσος τρόπος να γίνει αυτό είναι ο προσδιορισμός της ποσότητας της ζημιάς και ο μετασχηματισμός της σε νομισματικές μονάδες. Οι εξωτερικές δαπάνες που προκύπτουν μπορούν να εσωτερικοποιηθούν μέσω των φόρων ή χρεώσεων, που χρησιμοποιούνται για αναλύσεις κόστους-οφέλους ή ως δείκτης για την περιβαλλοντική ζημιά μέσω της λεγόμενης πράσινης λογιστικής (Bickel, 2003).

Σημαντικές έννοιες κόστους που σχετίζονται άμεσα με το περιβάλλον είναι το κοινωνικό περιβαλλοντικό κόστος που επηρεάζεται από τη συμπεριφορά των παραγωγικών μονάδων και των νοικοκυριών. Το κόστος αυτό, μπορεί να διακριθεί σε κόστος πρόληψης της ρύπανσης του περιβάλλοντος δηλαδή το κόστος που θα έχουν οι επιχειρήσεις, τα άτομα ή το κράτος από την εφαρμογή μέτρων για την αποφυγή της ρύπανσης (π.χ. επεξεργασία λυμάτων) και σε κόστος ρύπανσης που δημιουργείται από τη ρύπανση. Το κόστος της ρύπανσης μπορεί επίσης να διακριθεί σε ιδιωτική ή δημόσια δαπάνη που πραγματοποιείται για την αποφυγή της ζημιάς από την ήδη υπάρχουσα ρύπανση και σε ζημιά που προκαλείται στην κοινωνική ευημερία από τη ρύπανση (Κωττής, 1994).

3.2 Κοινωνικά κόστη και οφέλη

Στον υπολογισμό του κόστους ευκαιρίας ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας πρέπει να λάβουμε υπόψιν το πλήρες κόστος ευκαιρίας, που μετριέται ως την αξία της καλύτερης εναλλακτικής χρήσης στην οποία όλοι οι πόροι που χρησιμοποιήθηκαν στην παραγωγή

του αγαθού ή της υπηρεσίας θα μπορούσαν να τεθούν. Κάθε μια από αυτές τις εναλλακτικές αξίες χρήσης μετριέται στη συνέχεια σε σχέση με την προθυμία για πληρωμή/αποδοχή (WTP/WTA) των ατόμων που τους ανήκουν οι πόροι που επηρεάζονται από τη διαδικασία παραγωγής. Τα κριτήρια αυτά είναι η προθυμία να πληρώσουν (WTP) τα άτομα για να λάβουν τον πόρο ή η προθυμία των ατόμων να δεχτούν πληρωμή (WTA) για να τους αφαιρεθεί ο πόρος. Εάν όλοι οι πόροι υπολογίζονται κατ' αυτόν τον τρόπο έχουμε ένα κόστος που μπορεί να οριστεί ως το κοινωνικό κόστος.

Το κοινωνικό κόστος μπορεί να μην είναι ίσο με το ιδιωτικό κόστος ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας. Το ιδιωτικό κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από έναν ατμοηλεκτρικό σταθμό περιλαμβάνει τις πληρωμές στις πρώτες ύλες, τα εργατικά και το κεφάλαιο. Αυτό το κόστος δεν θα είναι ίσο με το κοινωνικό, εάν (α) οι πληρωμές δεν είναι βασισμένες στο κόστος ευκαιρίας της εργασίας, του κεφαλαίου και των πρώτων υλών και (β) τα αγαθά όπως ο καθαρός αέρας, ενώ έχουν καταναλωθεί στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, εκείνοι που επηρεάζονται από την απώλεια αυτού του αγαθού δεν πληρώνονται για αυτήν την κατανάλωση, με βάση το κόστος ευκαιρίας (Markandya et al., 2000).

Ένας από τους σημαντικότερους λόγους για τους οποίους το ιδιωτικό κόστος μπορεί να διαφέρει από το κοινωνικό κόστος είναι η παρουσία εξωτερικών αποτελεσμάτων ή εξωτερικότητων. Οι εξωτερικότητες εμφανίζονται όταν η παραγωγή ή η κατανάλωση ενός αγαθού ασκεί επίδραση στην ευημερία κάποιου, και αυτή η επίδραση στην ευημερία δεν έχει ληφθεί υπόψη πλήρως από τους αρμόδιους για την απόφαση αυτής της παραγωγής ή κατανάλωσης του αγαθού. Στο ανωτέρω παράδειγμα, το κόστος λόγω της επίδρασης στην ευημερία με την εμφάνιση ατμοσφαιρικής ρύπανσης από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μη ληφθεί υπόψη από τους προμηθευτές της ηλεκτρικής ενέργειας. Για να λάβουν πλήρως υπόψη τους αυτήν την επίδραση στην ευημερία, τα πρόσωπα που επηρεάζονται από την απώλεια της ατμοσφαιρικής ποιότητας θα έπρεπε να συμφωνήσουν με την απώλεια βασισμένοι στην προσέγγιση να δεχτούν πληρωμή για αυτό (WTA).

Τα βασικά σημεία όταν αφορά το κόστος ευκαιρίας είναι τα ακόλουθα:

- Το κόστος ευκαιρίας αγαθών μετριέται με γνώμονα την αξία της καλύτερης εναλλακτικής χρήσης στην οποία οι πόροι που χρησιμοποιήθηκαν στην παραγωγή των αγαθών, θα μπορούσαν να τεθούν.
- Το κοινωνικό κόστος ενός αγαθού ή μιας υπηρεσίας δίνεται από το κόστος ευκαιρίας όλων των πόρων που πηγαινούν στην παραγωγή αυτών. Μερικοί από

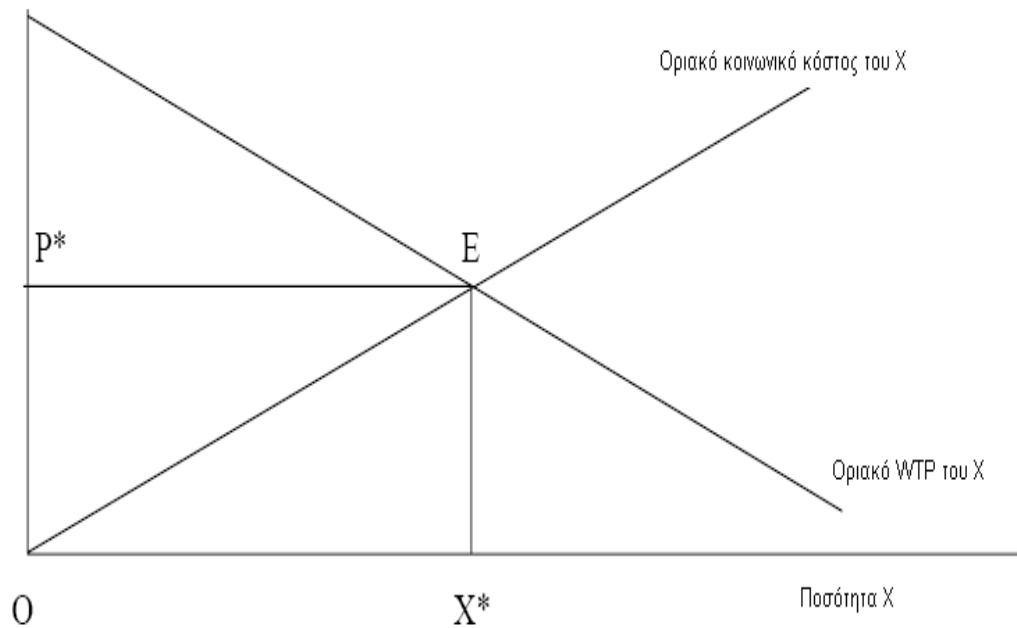
αυτούς μπορούν να μην περιλαμβάνουν οικονομικές πληρωμές. Ως εκ τούτου το ιδιωτικό κόστος μπορεί να μην είναι ίσο με το κοινωνικό κόστος.

- Το ιδιωτικό κόστος μπορεί να διαφέρει από το κοινωνικό κόστος για διάφορους λόγους. Ο σημαντικότερος αυτών είναι η παρουσία εξωτερικών αποτελεσμάτων. Αυτά προκύπτουν όταν επηρεάζεται η ευημερία των ατόμων από την παραγωγή ή/και την κατανάλωση ενός αγαθού αλλά δε δίνεται πλήρης προσοχή σε αυτήν την επίδραση, άρα δεν προσμετράται σαν οικονομικό αποτέλεσμα. (Markandya et al., 2000).

3.2.1 Τιμές αγοράς, οριακά ιδιωτικά κόστη, οριακά κοινωνικά κόστη και εξωτερικότητες

Στις αγορές με σωστή λειτουργία, όπου οι τιμές καθορίζονται από το εμπόριο μεταξύ πολλών αγοραστών και πωλητών, και που υπάρχουν τιμές για όλους τους πόρους που βρίσκονται σε σπανιότητα, οι τιμές είναι ίσες με τα οριακά κοινωνικά κόστη. Αυτό σημαίνει ότι η τιμή δίνει το κοινωνικό κόστος παραγωγής της τελευταίας μονάδας του αγαθού ή της υπηρεσίας. Το Σχήμα 14 επιδεικνύει πώς οι τιμές καθορίζονται και σχετίζονται με το οριακό κοινωνικό κόστος και την οριακή επιθυμία για πληρωμή (WTP) για την απόκτηση ενός αγαθού.

Τιμές, Οριακό κόστος και οριακό WTP



Σχήμα 14. Καθορισμός της τιμής σε σχέση με το οριακό κοινωνικό κόστος και την οριακή επιθυμία για πληρωμή (WTP) για την απόκτηση ενός αγαθού (Πηγή: Καλιαμπάκος et al., 2008)

Στις ανταγωνιστικές αγορές οι παραγωγοί παρέχουν τα αγαθά (X) στο σημείο στο οποίο η τιμή είναι ίση με το οριακό κόστος της παραγωγής. Εάν το τελευταίο περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία του κόστους καλείται οριακή κοινωνική καμπύλη κόστους και η τιμή αγοράς είναι στο σημείο στο οποίο το οριακό κοινωνικό κόστος είναι ίσο με τη ζήτηση για το αγαθό. Η ζήτηση είναι στην πραγματικότητα η οριακή προθυμία να πληρώσει για το αγαθό ή προθυμία των καταναλωτών να πληρώσουν για μια περισσότερη μονάδα του X. Ως εκ τούτου η τιμή ισορροπίας P^* και η ποσότητα Q^* είναι τέτοια που:

$$\text{οριακό κοινωνικό κόστος του } X = \text{οριακή προθυμία για πληρωμή του } X = P^*$$

Επίσης το οριακό κοινωνικό κόστος, είναι εξ' ορισμού ίσο με το άθροισμα του κόστους ευκαιρίας των πόρων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή της τελευταίας μονάδας του X. Το συνολικό κοινωνικό κόστος της παραγωγής δίνεται από την περιοχή κάτω από την καμπύλη οριακού κόστους, δηλαδή OP^*EX^* .

Στην πράξη οι αγορές δεν λειτουργούν τόσο αποτελεσματικά όσο το ανωτέρω

σχήμα δείχνει. Ειδικότερα, είναι σημαντικό να εισαχθεί (α) η παρουσία εξωτερικοτήτων και (β) η δυνατότητα οι ιδιωτικές δαπάνες να μην απεικονίζουν το κόστος ευκαιρίας λόγω διάφορων ατελειών στην αγορά (Markandya et al., 2000).

3.3 Εξωτερικότητες

Από την εποχή του μεγάλου νεοκλασικού οικονομολόγου Alfred Marshall έχει αναγνωριστεί ότι οι δραστηριότητες των οικονομικών μονάδων μπορούν να έχουν επιδράσεις σε άλλες οικονομικές μονάδες που δε λαμβάνονται υπόψη από τις πρώτες. Η έννοια των εξωτερικών οικονομιών δεν προσέχτηκε όμως αρκετά μέχρις ότου ένας άλλος μεγάλος οικονομολόγος ο A.C.Pigou την ανέπτυξε και την επέκτεινε περισσότερο και την παρουσίασε ως μία από τις κύριες αιτίες για τη διαφορά μεταξύ “ιδιωτικού καθαρού προϊόντος” και “κοινωνικού καθαρού προϊόντος”. Από τον Pigou προήλθε και η πρώτη περιβαλλοντική εφαρμογή πριν από το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, όταν εκείνος πρότεινε με βάση τις εξωτερικές οικονομίες την επιβολή ενός φόρου σε όσους ρύπαιναν την ατμόσφαιρα του Λονδίνου (Κωττής, 1994).

Για να είναι αποδοτικές οι αγορές, όλα τα οριακά κέρδη των χρηστών θα πρέπει να απεικονίζονται στην καμπύλη ζήτησης και όλα τα οριακά κόστη θα πρέπει να απεικονίζονται στην καμπύλη προσφοράς. Εάν δεν ισχύουν αυτές οι προϋποθέσεις, εμφανίζονται οι εξωτερικότητες. Δηλαδή εξωτερικές οικονομίες εμφανίζονται όταν οι ενέργειες ενός χρήστη (στην κατανάλωση ή παραγωγή) επιδρούν στην ευημερία ενός άλλου χρήστη και δημιουργούν εξωτερικές αλλαγές στις τιμές αγοράς ή τις ποσότητες (Κωττής, 1994, Tietenberg, 2000).

Κατά συνέπεια, ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος που εκπέμπει π.χ. SO₂, προκαλώντας ζημιές στα οικοδομικά υλικά ή την ανθρώπινη υγεία, επιβάλλει ένα εξωτερικό κόστος επειδή ο αντίκτυπος στους ιδιοκτήτες των κτηρίων ή σε εκείνους που υφίστανται τις επιπτώσεις στην υγεία τους δεν λαμβάνεται υπόψη από την εταιρία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις δραστηριότητες, προκαλώντας τη ζημία. Σε αυτό το παράδειγμα, οι περιβαλλοντικές δαπάνες είναι «εξωτερικές» επειδή, αν και είναι πραγματικές δαπάνες σε κάποια από τα μέλη της κοινωνίας, ο ιδιοκτήτης του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν τις λαμβάνει υπόψη κατά τη λήψη των αποφάσεων. Άλλο κλασσικό και πιο καθημερινό παράδειγμα αρνητικών εξωτερικοτήτων είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τα αυτοκίνητα. Κατά την αγορά ενός αυτοκινήτου, τα άτομα δεν λαμβάνουν υπόψιν

τους ότι η εκπομπή των ρύπων έχει επιπτώσεις στην ευημερία άλλων. Ίσως το πιο σημαντικό να είναι, ότι οι δαπάνες που συνδέονται με τη ρύπανση που προκαλείται δεν απεικονίζονται στην τιμή αγοράς ενός αυτοκινήτου. Παραδείγματος χάριν, ένα αυτοκίνητο που ρυπαίνει αρκετά μπορεί να κοστίσει σχεδόν το ίδιο με ένα αυτοκίνητο που ρυπαίνει πολύ λιγότερο (European Commission, 2003).

Μπορούν επίσης να υπάρξουν θετικές εξωτερικότητες όπως π.χ. τα μειωμένα ποσοστά εγκλήματος που συνδέονται με την εκπαίδευση, ο εμβολιασμός ενός ατόμου για να προστατευθεί από μια μεταδοτική ασθένεια ή η θετική επίδραση στο φυσικό περιβάλλον και τους κατοίκους μιας περιοχής κοντά σε μια λίμνη όταν σε αυτή εγκατασταθεί βιολογικός καθαρισμός από μια βιομηχανία. Εάν ένα πρόσωπο εμβολιάζεται για μια μεταδοτική ασθένεια, υπάρχουν μη-ανταγωνιστικά οφέλη. Και το πρόσωπο που λαμβάνει τον εμβολιασμό, αλλά και εκείνοι γύρω από αυτό ωφελούνται από τον εμβολιασμό. Δεν μπορούν να αποκλειστούν άλλοι από το όφελος ενός προσώπου από τον εμβολιασμό. Το ίδιο πράγμα ισχύει και για τη ρύπανση αλλά σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει ένα μη-ανταγωνιστικό κόστος, δηλαδή τα αποτελέσματα της ρύπανσης. Εάν μια περιοχή ρυπανθεί τα αποτελέσματα της ρύπανσης έχουν επιπτώσεις σε όλους, όχι μόνο στο πρόσωπο ή στην εταιρία που είναι υπεύθυνη για τη ρύπανση.

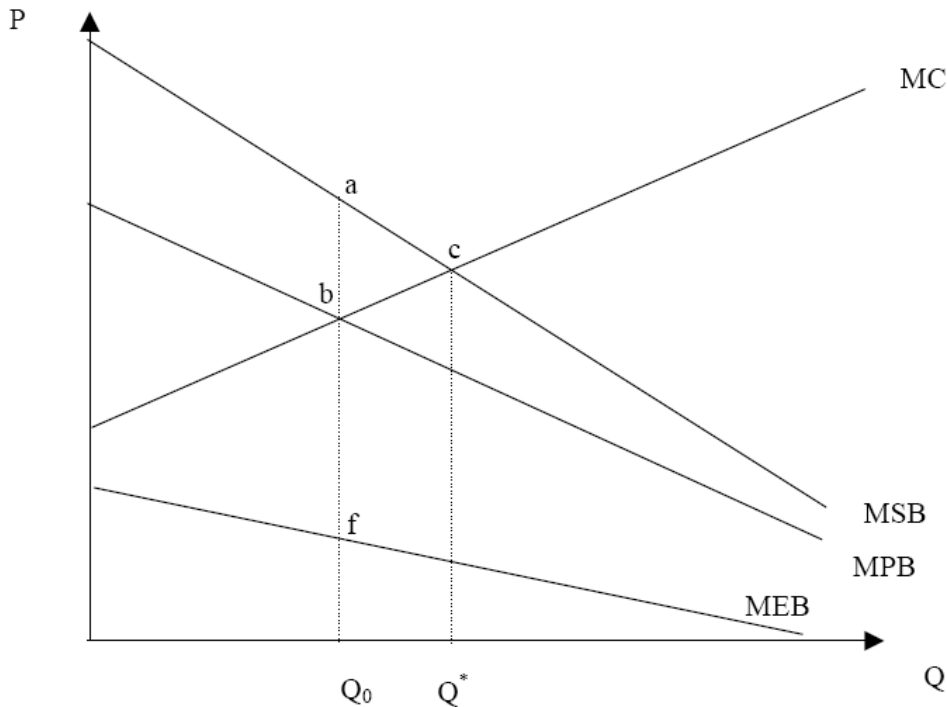
Οι εξωτερικότητες οδηγούν γενικά σε μια ανεπαρκή κατανομή των πόρων και των παραγωγικών συντελεστών, σε μη ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων και σε ανεπάρκεια της αγοράς και μη αποδεκτές κοινωνικές λύσεις. Σε μια ανταγωνιστική αγορά, η προσφορά και η ζήτηση θα απεικονίσουν μόνο τα ιδιωτικά οφέλη και δαπάνες. Τα οφέλη και οι δαπάνες που σε άλλους μειώνονται δεν θα ληφθούν υπόψη στον καθορισμό των ποσοτήτων και των τιμών. Παραδείγματος χάριν, ένα άτομο μπορεί να αποφασίσει να μην κάνει έναν εμβολιασμό επειδή οι ιδιωτικές δαπάνες υπερβαίνουν τα ιδιωτικά οφέλη από τον εμβολιασμό. Εντούτοις, εάν τα εξωτερικά οφέλη λαμβάνονταν υπόψη (η βελτίωση της υγείας και των άλλων) το συνδυαζόμενο όφελος που θα προέκυπτε μπορεί να ξεπερνούσε τις ιδιωτικές δαπάνες. Ως εκ τούτου, η επιλογή του ατόμου που δεν θα έκανε τον εμβολιασμό θα ήταν μια αναποτελεσματική επιλογή.

Επεξηγήσεις για τις ανεπάρκειες που προκύπτουν λόγω των θετικών και αρνητικών εξωτερικοτήτων, ακολουθούν στα παρακάτω παραδείγματα.

3.3.1 Θετικές εξωτερικότητες

Στο Σχήμα 15, παρουσιάζονται οι καμπύλες προσφοράς και ζήτησης για ένα αγαθό με μια θετική εξωτερικότητα. Η καμπύλη προσφοράς (οριακό ιδιωτικό κόστος), ως MC, και η

καμπύλη ζήτησης, ως MPB, για το οριακό ιδιωτικό κέρδος. Η καμπύλη ζήτησης, MPB απεικονίζει μόνο τα ιδιωτικά κέρδη που αυξάνονται στα άτομα που καταναλώνουν το αγαθό. Η ισορροπία εμφανίζεται στο Q_0 .



Σχήμα 15. Σχηματική απεικόνιση θετικών εξωτερικοτήτων (Πηγή: Κωττής, 1994)

Τα εξωτερικά κέρδη που συνδέονται με το αγαθό (στην περίπτωση της εκπαίδευσης αυτά τα εξωτερικά κέρδη θα περιλαμβάνουν τα χαμηλότερα ποσοστά εγκληματικότητας) απεικονίζονται στην καμπύλη οριακών εξωτερικών κερδών (MEB). Η καμπύλη MEB απεικονίζει το οριακό κέρδος σε άτομα εκτός των άμεσων καταναλωτών. Σε κάθε ποσότητα, το ύψος της καμπύλης MEB απεικονίζει την αξία μιας επιπλέον μονάδας κατανάλωσης. Παραδείγματος χάριν, στο Q_0 , τα άτομα που επηρεάζονται εξωτερικά θα ελάμβαναν ένα οριακό κέρδος f \$ από μια επιπλέον μονάδα κατανάλωσης. Η καμπύλη MEB είναι το κάθετο άθροισμα της ζήτησης από όλα τα άτομα που επηρεάζονται έμμεσα. Το κάθετο άθροισμα χρησιμοποιείται επειδή τα εξωτερικά κέρδη είναι μη-ανταγωνιστικά στην κατανάλωση.

Στο σημείο ισορροπίας έχουμε έλλειμμα του αγαθού άρα η ισορροπία είναι ανεπαρκής. Στο Q_0 το κέρδος στους καταναλωτές μιας επιπλέον μονάδας είναι μεγαλύτερο από το κόστος παραγωγής της μονάδας αυτής. Δηλαδή το άθροισμα των ιδιωτικών και κοινωνικών κερδών από την παραγωγή μιας επιπλέον μονάδας ($a=b+f$) υπερβαίνει το κόστος παραγωγής αυτής της επιπλέον μονάδας. Εάν μια επιπλέον μονάδα καταναλώνεται,

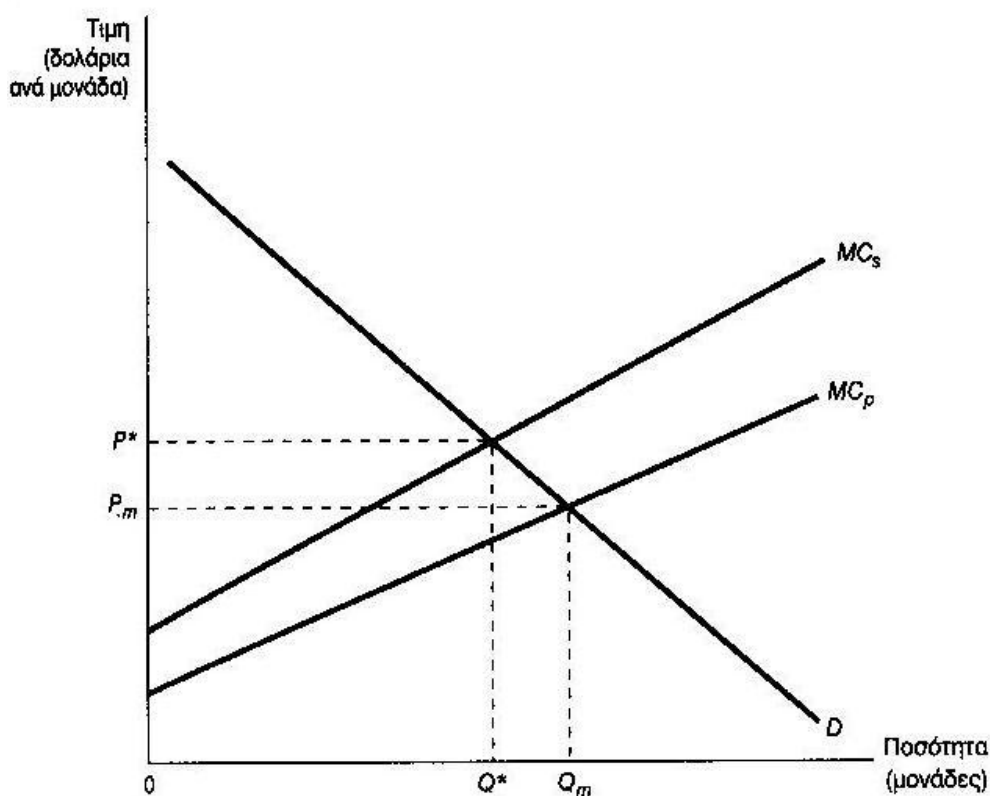
τα άτομα εκτός των άμεσων καταναλωτών ωφελούνται από αυτήν την κατανάλωση. Η καμπύλη MSB είναι το κάθετο άθροισμα των καμπυλών MPB και MEB.

Το σημείο ισορροπίας βρίσκεται εκεί όπου η καμπύλη MSB τέμνει την καμπύλη MC, στο σημείο Q^* . Στο Q^* , το οριακό κέρδος που αυξάνει στον καθένα που επηρεάζεται από την κατανάλωση του αγαθού είναι ίσο με ακριβώς το οριακό κόστος της παραγωγής του αγαθού. Αυξάνοντας την παραγωγή από το Q_0 στο Q^* αυξάνεται η καθαρή οικονομική αξία κατά την περιοχή abc. Κατά συνέπεια, η απώλεια ευημερίας που συνδέεται με το νέο σημείο ισορροπίας κλείνεται στον τομέα του τριγώνου abc, το οποίο αντιπροσωπεύει το χαμένο καταναλωτικό πλεόνασμα από την υποπαραγωγή.

3.3.2 Αρνητικές εξωτερικότητες

Ανάλογα αναλύονται οι συνέπειες μιας αρνητικής εξωτερικότητας. Έστω ότι δυο επιχειρήσεις βρίσκονται κοντά σε έναν ποταμό. Η πρώτη παράγει χάλυβα ενώ η δεύτερη, λίγο πιο κάτω, λειτουργεί ένα τουριστικό ξενοδοχείο. Και οι δυο χρησιμοποιούν τον ποταμό, αλλά με διαφορετικό τρόπο. Η χαλυβουργική επιχείρηση χρησιμοποιεί τον ποταμό ως αποδέκτη των υγρών αποβλήτων της, ενώ η δεύτερη τον χρησιμοποιεί για προσέλκυση πελατών για λόγους αναψυχής. Αν οι δυο αυτές εγκαταστάσεις έχουν διαφορετικούς ιδιοκτήτες, είναι απίθανο να προκύψει αποτελεσματική χρήση του ποταμού. Αφού η χαλυβουργία δεν φέρει το κόστος που συνεπάγεται η μείωση της πελατείας στο θέρετρο εξαιτίας των αποβλήτων που απορρίπτονται στο ποτάμι, το πιθανότερο είναι ότι δεν θα λάβει υπόψη της το κόστος αυτό κατά τη διαδικασία λήψης των σχετικών αποφάσεων. Συνεπώς, θα μπορούσε κανείς να περιμένει ότι θα διοχέτευε μεγάλες ποσότητες αποβλήτων στον ποταμό, και έτσι δεν θα επιτευχθεί αποτελεσματική κατανομή του φυσικού πόρου που αντιπροσωπεύει το ποτάμι.

Στο Σχήμα 16 που αντιπροσωπεύει την ανάλυση για τη βιομηχανία χάλυβα μπορούν να φανούν οι επιπτώσεις του εξωτερικού κόστους. Η παραγωγή χάλυβα συνεπάγεται αναπόφευκτα και παραγωγή ρύπανσης. Η ζήτηση για χάλυβα απεικονίζεται από την καμπύλη ζήτησης D και το ιδιωτικό οριακό κόστος παραγωγής χάλυβα (χωρίς έλεγχο της ρύπανσης) απεικονίζεται ως MCp. Επειδή η κοινωνία λαμβάνει υπόψη της τόσο το κόστος ρύπανσης όσο και το κόστος παραγωγής χάλυβα, η συνάρτηση του κοινωνικού οριακού κόστους (MCs) περιλαμβάνει και τα δυο αυτά στοιχεία κόστους.



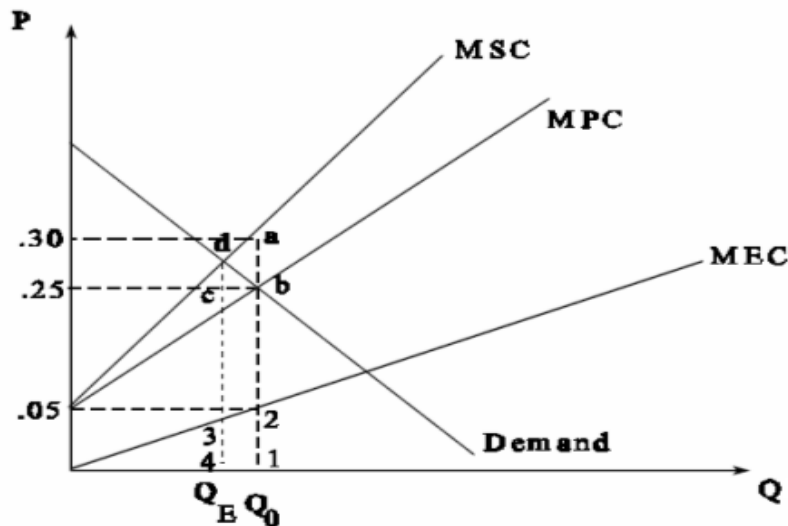
Σχήμα 16. Σχηματική απεικόνιση των επιπτώσεων από το εξωτερικό κόστος της εταιρίας παραγωγής χάλυβα του παραδείγματος (Πηγή: Tietenberg, 2000)

Αν η χαλυβουργική επιχείρηση δεν αντιμετώπιζε εξωτερικό έλεγχο για τα επίπεδα των ρύπων που διοχέτευε στο περιβάλλον, θα παρήγαγε ποσότητα Q_m . Η επιλογή αυτή σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον θα μεγιστοποιούσε το ιδιωτικό πλεόνασμα του παραγωγού, αφού το καθαρό όφελος μεγιστοποιείται στο σημείο Q^* και όχι στο σημείο Q_m .

Από το Σχήμα 16 λοιπόν συμπεραίνεται ότι η ποσότητα του παραγόμενου εμπορεύματος είναι υπερβολικά μεγάλη, παράγοντας υπερβολική ρύπανση, ενώ οι τιμές των προϊόντων που ευθύνονται για τη ρύπανση είναι πολύ χαμηλές. Για όσο διάστημα το κόστος είναι εξωτερικό, η αγορά δεν δημιουργεί κίνητρα για να αναζητηθούν τρόποι παραγωγής λιγότερης ρύπανσης ανά μονάδα προϊόντος. Η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση των ρυπογόνων ουσιών αποθαρρύνονται, αφού η διοχέτευση τους στο περιβάλλον είναι οικονομικά μεν αναποτελεσματική, αλλά κοστίζει φθηνά. Οι επιπτώσεις μιας ατέλειας της αγοράς, που αφορά ένα εμπόρευμα, καταλήγουν να επηρεάζουν τη ζήτηση για πρώτες ύλες, εργατικό δυναμικό κλπ. οι τελικές επιπτώσεις γίνονται αισθητές σε ολόκληρη την οικονομία (Tietenberg, 2000).

Αντίστοιχα εξετάζεται μια επιχείρηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εκπέμπει ρύπους. Στο Σχήμα 17, οι καμπύλες προσφοράς και ζήτησης δίνονται από τις

καμπύλες Demand και MPC αντίστοιχα. Η καμπύλη ζήτησης αντιπροσωπεύει την ηλεκτρική ενέργεια που επιλέγει η εταιρία να παράγει σε κάθε τιμή. Η καμπύλη MPC αντιπροσωπεύει το οριακό ιδιωτικό κόστος της αυξανόμενης παραγωγής. Δηλαδή αντιπροσωπεύει τις δαπάνες της εταιρίας. Η καμπύλη MPC κλίνει προς τα πάνω γιατί οι δαπάνες συντήρησης αυξάνονται με την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας.



Σχήμα 17. Σχηματική απεικόνιση των επιπτώσεων από το εξωτερικό κόστος της εταιρίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του παραδείγματος (Πηγή: Κωττής, 1994)

Η καμπύλη του οριακού εξωτερικού κόστους (MEC), αντιπροσωπεύει το κόστος στα άλλα άτομα από τους ρύπους που παράγονται από την εταιρία. Η καμπύλη MEC αυξάνει με την αύξηση της παραγωγής. Αυτό γίνεται επειδή όσο περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται, τόσο περισσότερο ρυπαίνεται το περιβάλλον από τις εκπομπές. Στο Q_0 το οριακό εξωτερικό κόστος είναι 5 νομισματικές μονάδες, που υπονοεί ότι τα άλλα άτομα θα ήταν κατά 5 νομισματικές μονάδες καλύτερα εάν η εταιρία μείωνε την παραγωγή κατά 1 μονάδα. Αφού υπάρχουν πολλά άτομα που ζουν σε μια περιοχή, η καμπύλη MEC λαμβάνεται αθροίζοντας κάθετα το οριακό κόστος που επιβαρύνει κάθε άτομο.

Η εταιρία έχει ένα κόστος που περιλαμβάνει μόνο τις ιδιωτικές δαπάνες της από την παραγωγή ενέργειας. Αλλά το κόστος αυτό καλύπτει μόνο τις δαπάνες παραγωγής, καθώς αγνοείται η ζημιά που γίνεται π.χ. λόγω επιπτώσεων στην υγεία ατόμων που αναπνέουν ρυπασμένο αέρα.

Στο Q_0 το κόστος της παραγωγής είναι 25 νομισματικές μονάδες αλλά υπάρχει ακόμα ένα εξωτερικό κόστος 5 νομισματικών μονάδων. Στο σημείο ισορροπίας, το οριακό

κοινωνικό κόστος (καμπύλη MSC) που είναι το κάθετο άθροισμα των MEC και MPC, είναι 30 νομισματικές μονάδες. Κατά συνέπεια στο σημείο ισορροπίας, το οριακό κοινωνικό κόστος είναι μεγαλύτερο από το οριακό όφελος. Αυτό σημαίνει ότι το κόστος στην κοινωνία συνολικά από την εταιρία που παράγει μια πρόσθετη μονάδα ενέργειας είναι μεγαλύτερο από το οριακό όφελος που η εταιρία λαμβάνει από την παραγωγή αυτής της μονάδας. Το σημείο ισορροπίας βρίσκεται εκεί όπου το οριακό κοινωνικό κόστος είναι ίσο με το οριακό όφελος, το οποίο εμφανίζεται για παραγωγή Q_E .

Η ισορροπία, επομένως, οδηγεί σε πλεόνασμα του αγαθού. Με άλλα λόγια, υπάρχει υπερβολική παραγωγή ρύπων από την παραγωγή ενέργειας σε σχέση με αυτήν που το περιβάλλον μπορεί να υποδεχτεί. Για να αντιμετωπίζει η εταιρία ένα κόστος παραγωγής που να απεικονίζει όλες τις δαπάνες (εξωτερικές και ιδιωτικές) που συνδέονται με την παραγωγή ενέργειας, πρέπει η παραγωγή ενέργειας να μειωθεί.

Τα οφέλη που συνδέονται με τη μειωμένη παραγωγή μετριοούνται εξετάζοντας την απώλεια ευημερίας που συνδέεται με το εξωτερικό κόστος. Εάν η εταιρία αναγκαστεί να μειώσει την παραγωγή της στο νέο σημείο ισορροπίας (σημείο Q_E) υφίσταται μια απώλεια ευημερίας όσο η περιοχή bcd. Συγχρόνως, όλα τα άτομα λαμβάνουν ένα κέρδος ευημερίας όσο η περιοχή 1234 (η περιοχή κάτω από την καμπύλη MEC). Δηλαδή όταν η παραγωγή μειώνεται, το οριακό εξωτερικό κόστος λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μειώνεται όσο είναι το ποσό που δίνεται από την περιοχή 1234. Η περιοχή 1234 είναι ίδια με την περιοχή abcd. Κατά συνέπεια, η απώλεια στην ευημερία της εταιρίας, δηλαδή bcd είναι μικρότερη από το κέρδος στην ευημερία όλων των ατόμων δηλαδή 1234. Η συνολική απώλεια ευημερίας στην κοινωνία στο σημείο ισορροπίας είναι η διαφορά μεταξύ των περιοχών 1234 και bcd, δηλαδή η περιοχή abd.

3.3.3 Κρατικές παρεμβάσεις στις εξωτερικότητες

Άμεσες κρατικές περιβαλλοντικές παρεμβάσεις

Ως άμεσες παρεμβάσεις θεωρούνται εκείνες με τις οποίες η Πολιτεία παρεμβαίνει στα θέματα προστασίας του περιβάλλοντος είτε με την παραγωγή ορισμένων περιβαλλοντικών υπηρεσιών είτε με την απαγόρευση ορισμένων ρυπαντικών ενεργειών είτε τέλος, επιβάλλοντας συγκεκριμένα επίπεδα ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Το κράτος είναι ο μεγαλύτερος ιδιοκτήτης φυσικών πόρων και έχει πολύ μεγάλη συμμετοχή στην εθνική παραγωγική και καταναλωτική δραστηριότητα και επομένως συμβάλει και αυτό σε μεγάλο βαθμό στη ρύπανση του περιβάλλοντος. Από την άλλη μεριά, ως θεματοφύλακας της ποιότητας ζωής των πολιτών έχει την ευθύνη για την

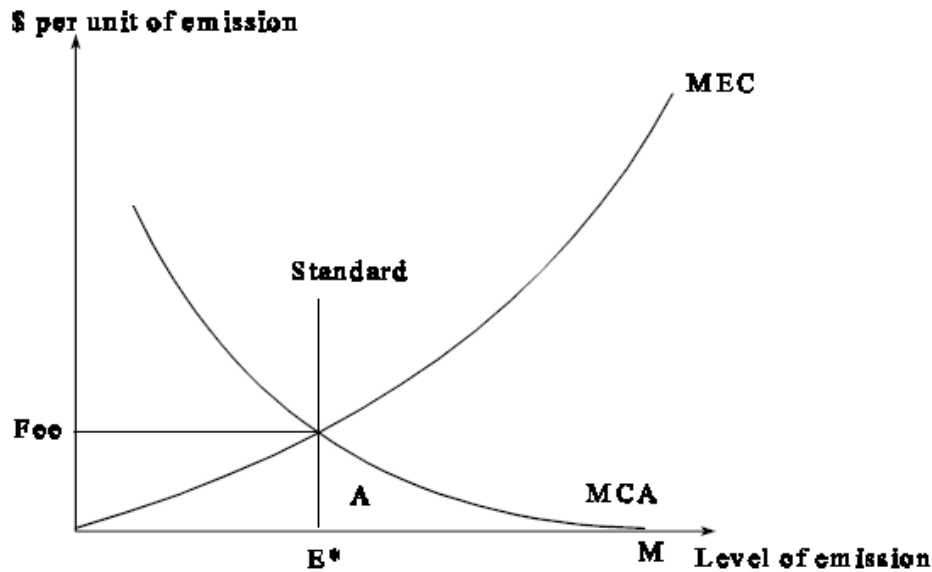
προστασία της από τη ρύπανση και γενικά από την υποβάθμιση της από διάφορες αιτίες (Κωττής, 1994).

Παρεμβάσεις με απαγόρευση και επιβολή περιβαλλοντικών προτύπων

Όταν υπάρχουν καταχρήσεις του περιβάλλοντος που προκαλούνται από την ύπαρξη αρνητικών εξωτερικών επιδράσεων, η συνήθης απαίτηση, ιδιαίτερα των τοπικών κοινωνικών παραγόντων, είναι η άμεση λήψη δραστικών μέτρων από το κράτος, που σημαίνει την πλήρη απαγόρευση των αιτιών που προκαλούν το πρόβλημα. Μια πλήρης απαγόρευση δεν είναι, όμως, η πιο κατάλληλη αντιρρυπαντική πολιτική. Το περιβάλλον έχει μια, ορισμένη βέβαια, ικανότητα να απορροφά τη ρύπανση, αλλά και η κοινωνία είναι διατεθειμένη να δεχτεί κάποιο βαθμό ρύπανσης με αντάλλαγμα αυξημένη παραγωγή και κατανάλωση αγαθών και υπηρεσιών. Συνήθως, λοιπόν, υπάρχει ένα «άριστο» επίπεδο περιορισμού της ρύπανσης εκεί που το οριακό κοινωνικό κόστος είναι ίσο με το οριακό κοινωνικό όφελος. Μια πλήρης απαγόρευση θα σήμαινε πολύ μεγάλο κοινωνικό κόστος χωρίς να υπάρχει αντίστοιχο κοινωνικό όφελος. Βέβαια υπάρχουν και περιπτώσεις που η λύση της πλήρους απαγόρευσης είναι αναγκαία, όπως όταν υπάρχει ρύπανση από έντονα δηλητηριώδεις ουσίες που μπορεί να οδηγήσουν σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης και να προκαλέσουν ακόμα και θανάτους. Τότε το κοινωνικό όφελος από την αποφυγή της προοπτικής του θανάτου είναι πολύ μεγαλύτερο από το κοινωνικό κόστος (Κωττής, 1994).

Περίπτωση της λύσης της απαγόρευσης αποτελεί η λύση του καθορισμού περιβαλλοντικών προτύπων. Στην περίπτωση της επιβολής προτύπου το κράτος αποφασίζει πόση ρύπανση είναι ανεκτή και πως θα γίνεται ο περιορισμός στο επιθυμητό επίπεδο (Κωττής, 1994). Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα παράδειγμα επιβολής προτύπου.

Μια εταιρία εκπέμπει ρύπους που βλάπτουν την ατμόσφαιρα σε μια δεδομένη τοποθεσία. Η εταιρία μπορεί να μειώσει τους ρύπους αλλά με αντίστοιχο κόστος. Το Σχήμα 18 επεξηγεί αυτήν την κατάσταση.



Σχήμα 18. Σχηματική απεικόνιση παραδείγματος επιβολής προτύπου (Πηγή: Κωττής, 1994)

Ο οριζόντιος άξονας μετρά το επίπεδο ρύπων που παράγονται από την εταιρία ενώ ο κάθετος άξονας μετρά την τιμή (το κόστος) της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Σε μια ιδιωτική, ανεξέλεγκτη αγορά, η εταιρία θα παρήγαγε τις M μονάδες ρύπων, δηλαδή στο επίπεδο που μεγιστοποιεί το κέρδος, αφού δεν εξετάζει το οριακό εξωτερικό κόστος της ρύπανσης, παρά μόνο το οριακό κόστος παραγωγής. Η καμπύλη MEC κλίνει προς τα πάνω επειδή το οριακό κόστος της ρύπανσης αυξάνεται όσο αυξάνεται το επίπεδο ρύπανσης. Με άλλα λόγια, τα μικρά επίπεδα ρύπων παράγουν μικρή ζημιά ενώ τα μεγάλα επίπεδα ρύπων παράγουν τις ουσιαστικές ζημιές. Η καμπύλη MCA αντιπροσωπεύει το οριακό κόστος μείωσης της ρύπανσης. Μετρά δηλαδή το συμπληρωματικό κόστος της εταιρίας για τη μείωση των ρύπων κατά μια μονάδα.

Η καμπύλη MCA γίνεται πιο απότομη καθώς το επίπεδο των ρύπων μειώνεται. Αυτό γίνεται επειδή μια μικρή μείωση των ρύπων είναι γενικά φτηνή αλλά οι μεγάλες μειώσεις ρύπανσης μπορεί να απαιτήσουν ακριβές μεθόδους. Το σημείο ισορροπίας εμφανίζεται στο E^* . Όπου το οριακό εξωτερικό κόστος της ρύπανσης είναι ακριβώς ίσο με το οριακό κόστος μείωσης της ρύπανσης.

Το κράτος θα μπορούσε να προτρέψει την εταιρία για να παράγει E^* μονάδες ρύπανσης με τη χρήση προτύπου ορίου εκπομπής (emission standard). Πρότυπο όριο εκπομπής είναι ένα νομικό όριο, το οποίο περιορίζει την ποσότητα ρύπων που μια εταιρία μπορεί να εκπέμψει και η παραβίαση του επιβάλλει πρόστιμο.

Για να επιβάλει αυτά τα πρότυπα όρια, το κράτος θα πρέπει να επιβάλει ένα πρόστιμο που θα είναι μεγαλύτερο από το κόστος μείωσης της ρύπανσης στο E^* . Κατά συνέπεια, το πρόστιμο θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερο από την περιοχή A , η οποία αντιπροσωπεύει το κόστος της εταιρίας για τη μείωση της ρύπανσης στο E^* .

Εναλλακτικά, το κράτος θα μπορούσε να καθιερώσει ένα πόσο πληρωμής για κάθε μονάδα ρύπανσης που παράγει η εταιρία. Για να επιτευχθεί το αποδοτικό επίπεδο ρύπανσης, το ποσό αυτό πρέπει να τεθεί στο σημείο «fee» που φαίνεται στο Σχήμα 18. Αυτό γίνεται επειδή η εταιρία μπορεί να μειώσει τη ρύπανση από το M στο E^* και το κόστος της να είναι λιγότερο από το ποσό που θα έπρεπε να καταβάλει για αυτό το επίπεδο ρύπανσης. Κατά συνέπεια, είναι προς το συμφέρον των εταιριών να μειώσουν τους ρύπους μέχρι το σημείο όπου το οριακό κόστος μείωσης της ρύπανσης είναι ακριβώς ίσο με το ποσό που χρεώνεται ανά μονάδα ρύπου. Στην ουσία το συνολικό κόστος μείωσης της ρύπανσης στην εταιρία είναι η περιοχή A συν τη συνολική αμοιβή που καταβάλλει για την παραγωγή στο σημείο E^* (που δίνεται από την περιοχή του ορθογώνιου Fee^*E^*). Εντούτοις, το κόστος της εταιρίας για την παραγωγή ρύπων σε οποιοδήποτε σημείο δεξιά του E^* είναι υψηλότερο.

Η επιβολή υποχρέωσης από το κράτος στις επιχειρήσεις να αγοράσουν αντιρρυπαντικό εξοπλισμό τους δημιουργεί άμεσες και έμμεσες κοστολογικές επιπτώσεις. Η άμεση επίπτωση αφορά στο άμεσο κόστος του εξοπλισμού και επιδρά αρνητικά στη συνολική παραγωγικότητα των συντελεστών παραγωγής αφού αυξάνεται το κόστος χωρίς να αυξάνεται το προϊόν. Το έμμεσο κόστος αφορά στην επίδραση στον τρόπο παραγωγής και μπορεί να είναι θετική, αρνητική ή αμελητέα. Για την επιβολή των προτύπων υπάρχουν εμπόδια και από την πλευρά του κράτους, καθώς συνήθως, υπάρχουν σοβαρές δυσκολίες στην παρακολούθηση και τη διαπίστωση της ρύπανσης και στην επιτήρηση των εταιριών (Κωττής, 1994).

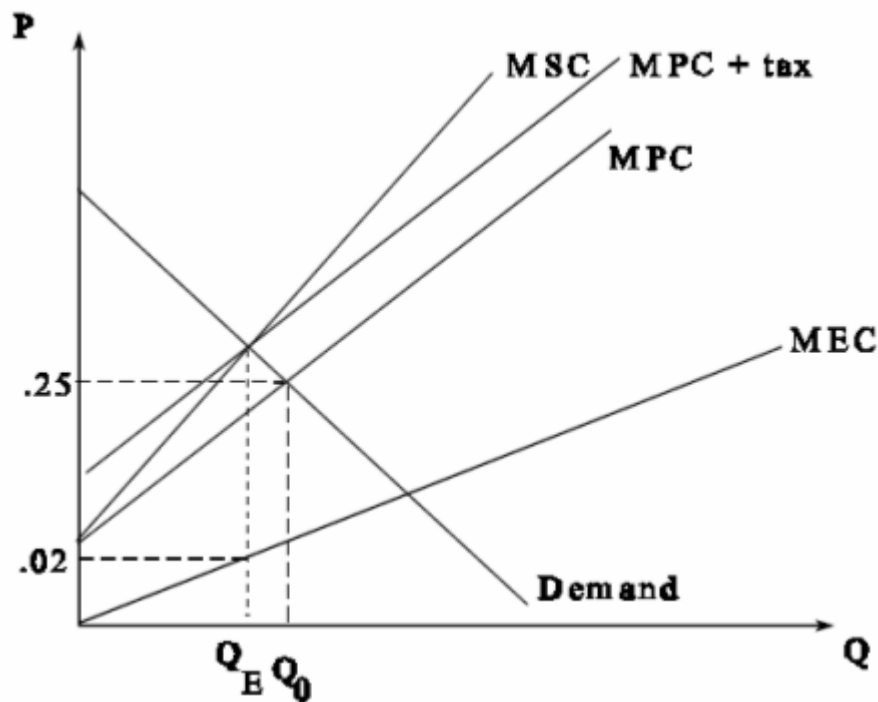
Έμμεσες κρατικές περιβαλλοντικές παρεμβάσεις

Έμμεσες παρεμβάσεις χαρακτηρίζονται εκείνες που γίνονται με τη χρησιμοποίηση θετικών ή αρνητικών οικονομικών κινήτρων για τον περιορισμό της ρύπανσης που καθιερώνονται από το κράτος ή με την εισαγωγή του περιβαλλοντικού κόστους στο μηχανισμό των τιμών. Οι έμμεσοι τρόποι προτιμώνται επειδή μέσω των οικονομικών κινήτρων επιτρέπεται η καλύτερη ενσωμάτωση του σχετικού με τη ρύπανση εξωτερικού κόστους και οφέλους στο ιδιωτικό κόστος και όφελος των εταιριών. Έτσι υπάρχει πιο ορθολογική διαχείριση των περιβαλλοντικών πόρων (Κωττής, 1994).

Περιβαλλοντικοί φόροι και επιδοτήσεις

Η επιβολή φόρων αποσκοπεί στην αποθάρρυνση της ρύπανσης ενώ η χορήγηση επιδοτήσεων αποβλέπει στην ενθάρρυνση ορισμένων αντιρρυπαντικών ενεργειών. Η αρμόδια κρατική υπηρεσία που καθορίζει τους φόρους ή τις επιδοτήσεις θα πρέπει να γνωρίζει τις μεθόδους παραγωγής όλων των μονάδων καθώς και την ακριβή επίδραση κάθε είδους ποσότητας ρύπανσης ώστε να μπορεί να καθορίζει τα κατάλληλα μέτρα για τον περιορισμό της ρύπανσης στο επιθυμητό επίπεδο. Η έλλειψη των απαραίτητων πληροφοριών, αλλά και η πολυπλοκότητα των τεχνικών αποτελούν τα προβλήματα εφαρμογής των μεθόδων (Κωττής, 1994).

Περιβαλλοντικό πρόβλημα δημιουργείται όταν λόγω εξωτερικών επιδράσεων το οριακό κοινωνικό όφελος διαφέρει από το οριακό κοινωνικό κόστος. Ένας φόρος που επιβάλλεται σε κάθε μονάδα παραγωγής σε ένα ποσό ακριβώς ίσο με το οριακό οικονομικό κόστος στο αποδοτικό επίπεδο παραγωγής, έχει ως σκοπό να εξισώσει αυτά τα δύο μεγέθη (Κωττής, 1994).



Σχήμα 19. Αναπαραγωγή του σχήματος με την επίδραση αρνητικής εξωτερικότητας στην εταιρία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με την επιβολή φόρου (Πηγή: Κωττής, 1994)

Στο Σχήμα 19 παρουσιάζεται και πάλι η εταιρία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που όπως προαναφέρθηκε παράγει πάνω από το σημείο ισορροπίας. Για να διορθωθεί αυτό, το κράτος θα μπορούσε να επιβάλει ένα φόρο στην εταιρία στο ποσό των 2

νομισματικών μονάδων ανά μονάδα προϊόντος που παράχθηκε. Οι 2 νομισματικές μονάδες είναι ακριβώς το οριακό εξωτερικό κόστος (MEC) στο σημείο ισορροπίας αυτού του επιπέδου παραγωγής. Η επιβολή ενός τέτοιου φόρου θα αύξανε το οριακό κόστος της εταιρίας για παραγωγή ενέργειας και ως εκ τούτου θα μετατόπιζε την καμπύλη MPC προς τα αριστερά.

Αντί για την επιβολή φόρων, για τον περιορισμό της ρύπανσης είναι δυνατή η καταβολή επιδοτήσεων προς τις επιχειρήσεις που ρυπαίνουν προκειμένου, να εφαρμόσουν αυτές μέτρα για τον περιορισμό της ρύπανσης τους. Αυτό γίνεται γιατί, συνήθως, δεν υπάρχει προθυμία από τις εταιρίες να διαθέσουν μεγάλα ποσά για σκοπούς «μη παραγωγικούς». Βέβαια, η μέθοδος των επιδοτήσεων παρουσιάζει κάποια σοβαρά μειονεκτήματα, αφού το κόστος περιορισμού της ρύπανσης δεν προστίθεται στο ιδιωτικό κόστος και άρα στην τιμή των προϊόντων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το κόστος μείωσης της ρύπανσης να μην επιβαρύνει τους καταναλωτές αυτών των προϊόντων και έτσι δημιουργούνται κίνητρα για την αποφυγή χρησιμοποίησης αυτών των προϊόντων. Το κόστος μείωσης της ρύπανσης επιβαρύνει το σύνολο των φορολογουμένων γιατί τα ποσά των επιδοτήσεων θα πρέπει να καλυφθούν με την επιβολή φόρων. Επίσης, για τις εταιρίες η μείωση της ρύπανσης είναι ένα εμπορεύσιμο είδος, με το οποίο θα προσπαθήσουν να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους. Μια από τις αντιρρήσεις της μεθόδου των επιδοτήσεων είναι ότι αν το κόστος του αυτοπεριορισμού της ρύπανσης από τις επιχειρήσεις είναι χαμηλότερο από την επιδότηση, ορισμένες επιχειρήσεις μπορεί να έχουν κίνητρο να ρυπαίνουν περισσότερο ώστε στη συνέχεια να εισπράττουν τις επιδοτήσεις για τον περιορισμό της ρύπανσης (Κωττής, 1994).

3.4 Προσέγγιση τρόπου επίδρασης

3.4.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε, η απελευθέρωση των ρύπων στον αέρα, το νερό και το έδαφος μπορεί να ασκήσει επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία, τις γεωργικές συγκομιδές, τα φυσικά και ανθρωπογενή περιβάλλοντα μέσω των διαφορετικών τρόπων εξωτερικής ή/και εσωτερικής έκθεσης. Όσον αφορά στη δημόσια υγεία, τα επιδημιολογικά στοιχεία έχουν δείξει μια αύξηση στην επικράτηση των άμεσων αποτελεσμάτων νοσηρότητας (όπως οι προσβολές άσθματος, οι αναπνευστικές και καρδιαγγειακές εισαγωγές σε νοσοκομείο, μείωση της προσδοκούμενης διάρκειας ζωής, κ.ά.) με την έκθεση στα αυξανόμενα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι φυσικές αυτές επιπτώσεις ενέχουν ένα σημαντικό κόστος, το

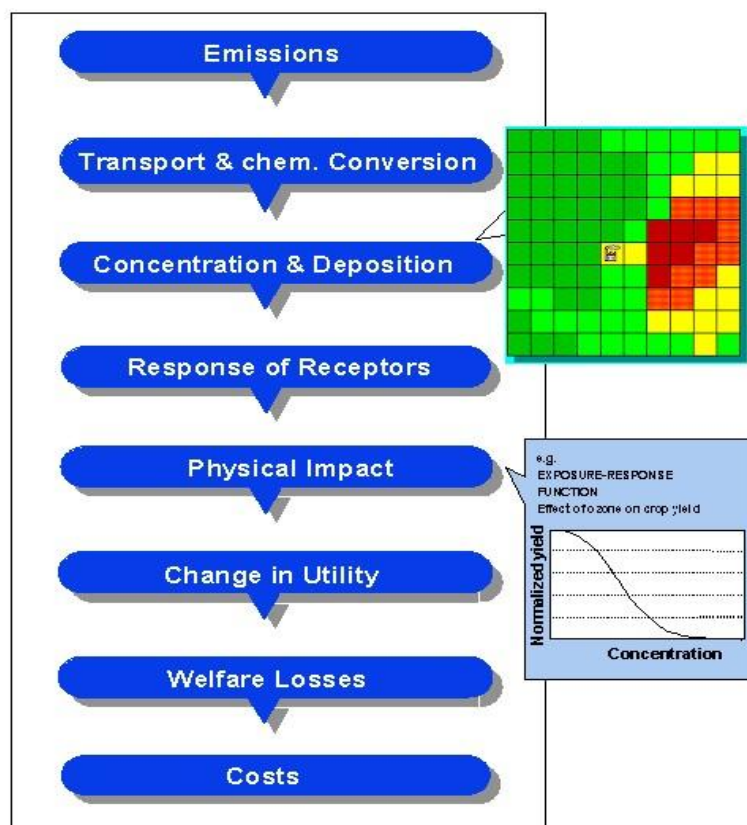
οποίο, εφόσον δεν είναι ενσωματωμένο στο κόστος παραγωγή, χαρακτηρίζεται ως εξωτερικό κόστος. Οι εξωτερικότητες δεν είναι μικρές. Στην Ευρώπη, παραδείγματος χάριν, οι συνολικές εξωτερικότητες από την ηλεκτρική παραγωγή αντιπροσωπεύουν 1 έως 2% του ετήσιου ΑΕΠ (ExternE, 1998). Στις αναπτυσσόμενες χώρες, οι εξωτερικές δαπάνες είναι πιθανό να είναι ακόμα υψηλότερες δεδομένου ότι οι τεχνολογίες ελέγχου της ρύπανσης είναι σχεδόν ανύπαρκτες.

Η ποσοτικοποίηση των φυσικών επιδράσεων και των οικονομικών ζημιών, που συνδέονται με τη προσφορά και τη χρήση της ενέργειας, ενσωματώνει την τεχνογνωσία από τους διαφορετικούς τομείς της επιστήμης, συμπεριλαμβανομένων των μηχανικών, των επιδημιολόγων, των οικολόγων και των οικονομολόγων. Σε μια εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, απαιτείται η μελέτη της διασποράς των ρύπων σε μια απόσταση εκατοντάδων χιλιάδων χιλιομέτρων από τη θέση της πηγής εκπομπής. Μόλις υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις, οι φυσικές επιδράσεις στους επηρεασθέντες δέκτες (άνθρωποι, καλλιέργειες, οικοσυστήματα.) μπορούν να προβλεφθούν και, ακολούθως, να αξιολογηθούν οι οικονομικές επιπτώσεις. Οι λεπτομερείς αναλύσεις, επομένως, είναι απαραίτητες, αν και έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε πόρους και χρόνο. Μια τέτοια λεπτομερής και εκτενής σύνταξη των απαιτούμενων στοιχείων είναι πιθανό να μην είναι εύκολα διαθέσιμη, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες.

3.4.2 Περιγραφή της προσέγγισης τρόπου επίδρασης

Για την αποτίμηση των εξωτερικοτήτων ειδικά σε σχέση με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τις δύο τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιείται η «προσέγγιση του τρόπου επίδρασης» (Impact Pathway Approach), η οποία αναπτύχθηκε μέσα από μια σειρά έργων που υποστηρίζονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, με βάση το πρόγραμμα ExternE (“Externalities of Energy”).

Η φράση «τρόπος επίδρασης» (impact pathway) αναφέρεται στη σειρά γεγονότων που συνδέουν μια «επιβάρυνση» με μία «επίδραση» και την επακόλουθη αξιολόγηση. Η προσέγγιση του τρόπου επίπτωσης είναι μια από κάτω-προς-τα-πάνω (bottom-up) προσέγγιση, στην οποία τα περιβαλλοντικά κέρδη και κόστη υπολογίζονται ακολουθώντας το “δρόμο” από την εκπομπή της πηγής στις φυσικές επιπτώσεις μέσω των ποιοτικών αλλαγών στον αέρα, το έδαφος και το νερό, πριν εκφραστούν σε χρηματικά οφέλη και κόστη. Η μεθοδολογία επομένως προχωρά διαδοχικά μέσω του τρόπου επίδρασης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 20.



Σχήμα 20. Η προσέγγιση του τρόπου επίδρασης (Impact Pathway Approach) (Πηγή: ExternE)

Η αλυσίδα των αιτιωδών σχέσεων αρχίζει από την εκπομπή (emission) και μέσω της μεταφοράς και της χημικής μετατροπής στο περιβάλλον (transport & chemical conversion) και της συγκέντρωσης και απόθεσης στο περιβάλλον (concentration & deposition) στις επιδράσεις στους διάφορους δέκτες (response of receptors), όπως οι άνθρωποι, οι καλλιέργειες, τα οικοδομικά υλικά ή τα οικοσυστήματα. Με βάση τις συναρτήσεις έκθεσης-απόκρισης (exposure-response function) υπολογίζονται οι φυσικές επιπτώσεις (physical impact). Τελικά η απώλεια ευημερίας (welfare losses) που προκύπτει μετατρέπεται στις νομισματικές τιμές που υπολογίζονται με βάση τις έννοιες της οικονομικής ευημερίας. Η προσέγγιση του τρόπου επίδρασης παρέχει ένα λογικό και διαφανή τρόπο ποσοτικοποίησης των εξωτερικοτήτων (Bickel, 2003).

Η χρήση μιας τέτοιας λεπτομερούς από κάτω προς τα επάνω μεθοδολογίας είναι απαραίτητη, δεδομένου ότι οι εξωτερικές δαπάνες είναι ιδιαίτερα εξαρτώμενες από την περιοχή και από τα οριακά κόστη που πρέπει να υπολογιστούν.

3.4.3 Επιδράσεις

Οι επιδράσεις ποσοτικοποιούνται χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις δόσης-απόκρισης, ή αλλιώς έκθεσης-απόκρισης (Exposure – Response functions ERF). Οι ERFs συνδέουν τη συγκέντρωση των ρύπων με την προκύπτουσα επίπτωση σε ένα δέκτη (ανθρώπινη υγεία, καλλιέργειες, υλικά κλπ.). Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία περιλαμβάνουν τις προσβολές άσθματος, τις εισαγωγές σε νοσοκομείο, τη χρόνια βρογχίτιδα, της ημέρες περιορισμένης δραστηριότητας, και τους πρόωρους θανάτους. Η θνησιμότητα ποσοτικοποιείται σε σχέση με τη μείωση (ή την απώλεια) στην υπολογιζόμενη διάρκεια ζωής, που εκφράζεται συσσωρευτικά ως τα έτη ζωής που χάνονται (Years of Life Lost - YOLL) για τον εκτιθέμενο πληθυσμό. Αυτό είναι απαραίτητο για να επιτρέψει τις σημαντικές συγκρίσεις με άλλες αιτίες του θανάτου, συμπεριλαμβανομένων των ατυχημάτων για τα οποία το YOLL ανά θάνατο είναι πολύ υψηλότερο από την ατμοσφαιρική ρύπανση (Spadaro, 2002).

Οι ERFs για τις επιπτώσεις στην υγεία προκύπτουν από επιδημιολογικές μελέτες. Η επιδημιολογία είναι η μελέτη της ανθρώπινης υγείας και των σχετικών ασθενειών και προβλημάτων. Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων τριών δεκαετιών, πολυάριθμες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί στην προσπάθεια να καθιερωθεί μια σχέση δράσης-αποτελέσματος που να συνδέει μια αύξηση στο επίπεδο συγκέντρωσης ενός συγκεκριμένου συστατικού του ρυπασμένου αέρα (όπως το SO₂) με μια αύξηση στο ποσοστό μιας επίπτωσης μιας συγκεκριμένης ασθένειας υγείας (όπως οι εισαγωγές σε νοσοκομείο για αναπνευστικά προβλήματα) ή θνησιμότητας (WHO, 2000).

Η δόση που θα υπολογιστεί για κάθε άνθρωπο επηρεάζεται έντονα από την υπάρχουσα υπαίθρια ατμοσφαιρική ποιότητα, αλλά επηρεάζεται εξίσου και από άλλους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του χρονικού διαστήματος που ένα πρόσωπο βρίσκεται στην ύπαιθρο, την αναλογία εσωτερικής/εξωτερικής συγκέντρωσης, το επίπεδο σωματικής δραστηριότητας, τη σύνθεση του ρυπασμένου αέρα, τη χημεία, το μέγεθος και την κατανομή των ειδών και την απόσταση από την πηγή εκπομπής. Στην πράξη, αυτό το επίπεδο αναλυτικών πληροφοριών δεν είναι σχεδόν ποτέ διαθέσιμο, αν και εμφανίζονται στη βιβλιογραφία στοιχεία για κάποιους ρύπους. Αν και η ευαισθησία του κάθε ατόμου (ή η ανοχή του) σε ένα εξωτερικό ερέθισμα ποικίλλει πολύ στο γενικό πληθυσμό, οι ERFs είναι βασισμένες σε μια συνολική ομάδα πληθυσμού ή σε μια ευαίσθητη ομάδα πληθυσμού (π.χ., ασθματικοί) (Spadaro, 2002).

Το κύριο πλεονέκτημα των επιδημιολογικών μελετών είναι ο ρεαλισμός τους. Επειδή, τα αποτελέσματά τους είναι βασισμένα στις αναφερόμενες επιπτώσεις στην υγεία

για έναν πληθυσμό ή μια ευαίσθητη ομάδα πληθυσμού που είναι εκτεθειμένη σε ένα πραγματικό επίπεδο ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι περισσότερες μελέτες μέχρι σήμερα έχουν επικεντρωθεί στον προσδιορισμό των βραχυπρόθεσμων ή άμεσων αποτελεσμάτων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πρώτιστα επειδή αυτές οι σχέσεις είναι οι ευκολότερες δεδομένου ότι απαιτούν τη λεπτομερή γνώση μόνο μερικών παραμέτρων και δεν επηρεάζονται άμεσα από τις μόνιμες αλλαγές στο επίπεδο ρύπανσης. Σε αντίθεση με τις μελέτες των άμεσων αποτελεσμάτων, πολύ λίγες μελέτες υπάρχουν στον προσδιορισμό της ποσότητας των μακροπρόθεσμων ή χρόνιων αθροιστικών αποτελεσμάτων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι χρόνιες σχέσεις είναι ευαίσθητες σε πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της σύνθεσης και του επιπέδου ρύπανσης που μπορεί να προϋπήρχε, του τρόπου ζωής των ανθρώπων, των προσωπικών συνηθειών σε σχέση με την υγεία (π.χ. κάπνισμα, διατροφή) και της κατανομής της ηλικίας του πληθυσμού.

Λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα επιδημιολογικά στοιχεία, οι ERFs για την υγεία είναι περίπου ευθείες γραμμές, χωρίς να υπάρχει ασφαλές κατώτατο όριο κάτω από το οποίο δεν υπάρχει καμία επίδραση (τουλάχιστον όχι σε ένα ευρύ επίπεδο πληθυσμών και για τις τρέχουσες περιβαλλοντικές συγκεντρώσεις).

Για τις καλλιέργειες και τα οικοδομικά υλικά, οι ERFs έχουν μη γραμμικές μορφές. Στην πραγματικότητα, υπάρχει ακόμη και η δυνατότητα ενός μικρού οφέλους για μερικές γεωργικές καλλιέργειες όταν η συγκέντρωση στο έδαφος του SO₂ ή/και NO_x είναι αρκετά χαμηλές (επιδρούν σαν λίπασμα). Για τις καλλιέργειες, υπολογίζονται τα κέρδη ή οι ζημιές στην παραγωγή, και για τα οικοδομικά υλικά, υπολογίζεται η επιφάνεια που βλάπτεται από τη ρύπανση (Spadaro, 2002).

3.4.4 Αποτίμηση σε οικονομικούς όρους

Η αποτίμηση σε χρηματικές μονάδες συμβάλλει στη συνάθροιση των επιπτώσεων στην υγεία, τα δομικά υλικά, τις καλλιέργειες και το οικοσύστημα, που έχουν διαφορετικές φυσικές μονάδες, σε μια ενιαία βάση. Επιπλέον, η οικονομική αξιολόγηση είναι ενδεδειγμένη για τη σύγκριση των κερδών και των δαπανών των μέτρων μείωσης, των τεχνολογικών επιλογών ή των πολιτικών κανονισμών που πρέπει να επιβληθούν. Χωρίς την οικονομική αξιολόγηση, διακινδυνεύεται οι αποφάσεις που θα ληφθούν να οδηγήσουν σε σημαντικές απώλειες ευημερίας ή σε ακατάλληλη κατανομή των πόρων.

Για να εξαχθούν οι εξωτερικότητες, πολλαπλασιάζεται ο αριθμός των εμφανιζόμενων επιπτώσεων (π.χ., ο αριθμός προσβολών άσθματος) με το κόστος ανά περίπτωση (€ ανά εκδήλωση άσθματος). Για τις επιπτώσεις στην υγεία, τα κόστη μονάδας

περιλαμβάνουν και το κόστος ασθένειας και των απωλειών στην αμοιβή και την παραγωγικότητα, που είναι παράγοντες βασισμένοι στην αγορά, καθώς επίσης και τις δαπάνες που δεν υπολογίζονται από την αγορά παρά μόνο λαμβάνοντας υπόψη την προθυμία του ατόμου για πληρωμή (WTP) για να αποφύγει τη συγκεκριμένη επίπτωση μέσω κατάλληλων μεθόδων της Περιβαλλοντικής Οικονομίας. Για τη θνησιμότητα, για παράδειγμα, εκτιμάται η αξία ενός έτους ζωής που χάνεται (VLYL), η οποία βασίζεται στην αποκαλούμενη στατιστική αξία της ζωής (VSL), ήτοι το χρηματικό ποσό που η κοινωνία είναι πρόθυμη να πληρώσει για να αποφύγει έναν πρόωρο θάνατο (Spadaro, 2002).

Οι τιμές κόστους μονάδας για τις καλλιέργειες και τα οικοδομικά υλικά είναι υπολογισμένες με βάση την αγορά και τις δαπάνες αντικατάστασης των υλικών. Δεδομένου ότι οι ζημιές συγκομιδών είναι σχετικά μικρές, υπολογίζονται απλά βάσει σταθερών τιμών, χωρίς εκτίμηση των συμπεριλαμβανομένων αποτελεσμάτων (αντισταθμιστική συμπεριφορά παραγωγών) (Spadaro, 2002).

3.4.5 Αβεβαιότητες και αξιοπιστία

Οι εξωτερικότητες των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων είναι δύσκολο να αποτιμηθούν και η έκτασή τους σχετικά μεγάλη για να συγκριθούν μεταξύ τους. Αν και η επιστημονική γνώση στον τομέα της εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων εξελίσσεται γρήγορα, οι αβεβαιότητες στα ατμοσφαιρικά μοντέλα διασποράς και τις συναρτήσεις έκθεσης - απόκρισης είναι ακόμη σημαντικές. Επίσης, οι αβεβαιότητες που συνδέονται με μελλοντικά σενάρια και πολιτικές και με τις ηθικές αποφάσεις είναι αναμφισβήτητα δυσκολότερο να ελεγχθούν ή να αποκλειστούν. Τέλος, αβεβαιότητες υφίστανται και σε σχέση με τις οικονομικές τιμές μονάδας που χρησιμοποιούνται. Αυτά τα ζητήματα, η δυνατότητα για την εύρεση θεραπειών για τις τρέχουσες ασθένειες, η ανάπτυξη γενετικά ανθεκτικών γεωργικών καλλιεργειών ή η συμφωνία σχετικά με μια νομισματική αξία για την ανθρώπινη ζωή (VSL), παραδείγματος χάριν, οδηγούνται από τις στρατηγικές υποθέσεις και τα ηθικά ζητήματα που, δυστυχώς, δεν υπόκεινται στην επιστημονική διερεύνηση και ανάλυση (Spadaro, 2002).

Οι μεμονωμένες πηγές αβεβαιότητας πρέπει να προσδιοριστούν και να ποσοτικοποιηθούν. Σε αυτή την κατεύθυνση θα πρέπει να ομαδοποιηθούν σε διάφορες κατηγορίες, ακόμα κι αν υπάρξει κάποια επικάλυψη:

- αβεβαιότητες δεδομένων, π.χ. μια συνάρτηση έκθεσης –απόκρισης, το κόστος μιας ημέρας λόγω περιορισμένης δραστηριότητας, η ταχύτητα απόθεσης ενός ρύπου,

- αβεβαιότητες των μοντέλων, π.χ. υποθέσεις για τη σχέση μεταξύ ενός ρύπου και του αντίκτυπου στην υγεία, υποθέσεις για τη μορφή μιας συνάρτησης έκθεσης-απόκρισης (π.χ. με ή χωρίς κατώτατο όριο), και η επιλογή μοντέλων για την ατμοσφαιρική διασπορά και τη χημεία,
- αβεβαιότητα για τις πολιτικές και ηθικές επιλογές, π.χ. για την αξία της στατιστικής ζωής,
- αβεβαιότητα για το μέλλον π.χ. η δυνατότητα για τη μείωση των απωλειών στις καλλιέργειες από την ανάπτυξη ανθεκτικότερων ειδών,
- ιδιοσυγκρασία των αναλυτών π.χ. διαφορούμενες ή ελλιπείς πληροφορίες.

Οι πρώτες δυο κατηγορίες είναι επιστημονικής φύσης και μπορούν να αναλυθούν με τη χρησιμοποίηση των στατιστικών μεθόδων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν γεωμετρική σταθερή απόκλιση περίπου 2 έως 4, το οποίο σημαίνει ότι η αληθινή αξία θα μπορούσε να είναι 2 έως 4 φορές μικρότερη ή μεγαλύτερη από τη μέση εκτίμηση (European Commission, 2003).

Οι συναρτήσεις έκθεσης-απόκρισης είναι ίσως το πιο αδύνατο σημείο στην ανάλυση του τρόπου επίδρασης. Στις επιδημιολογικές μελέτες, τα αποτελέσματα για το εύρος των αβεβαιοτήτων απεικονίζουν μόνο τις στατιστικά σημαντικές αποκλίσεις στα στοιχεία και παραμελούν τα συστηματικά λάθη, τις προκαταλήψεις και τις στρεβλώσεις. Η προδιαγραφή των πιθανών ή κατάλληλων διαστημάτων εμπιστοσύνης είναι στην καλύτερη περίπτωση μια εικασία βασισμένη στην προσωπική ή ειδική κρίση που επιβαρύνεται και από την ελλιπή επιδημιολογική γνώση. Εντούτοις, παρά τις μεγάλες αβεβαιότητες στα αποτελέσματα, είναι ακόμα δυνατό να συναχθούν τα σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με ζητήματα πολιτικής, τις τεχνολογικές επιλογές ή την ταξινόμηση των μέτρων ελέγχου (Rabl et al., 1998).

Παρά αυτές τις αβεβαιότητες, ωστόσο, η μέθοδος είναι χρήσιμη διότι:

- η γνώση ενός πιθανού εύρους των εξωτερικών δαπανών είναι καλύτερη για τις πολιτικές αποφάσεις από την εναλλακτική λύση να μην υπάρχει καμία ποσοτική πληροφορία,
- η σχετική σημασία των διαφορετικών προσεγγίσεων επιπτώσεων μπορεί να προσδιοριστεί (π.χ. αν το μέγεθος των μικροσωματιδίων έχει διαφορετική επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία),
- προσδιορίζονται οι σημαντικές παράμετροι που προκαλούν τις υψηλές εξωτερικές δαπάνες,

- η διαδικασία λήψης απόφασης θα γίνει διαφανέστερη και κατανοητή, διευκολύνεται η πραγματοποίηση των πολιτικών στόχων,
- θα προσδιοριστούν οι τομείς για την περαιτέρω έρευνα.

Πρέπει, επίσης, να σημειωθεί ότι τα κενά στη γνώση μπορούν να κλείσουν και οι αβεβαιότητες να μειωθούν με την εκτέλεση περαιτέρω ερευνών (π.χ. περαιτέρω ενδεχόμενες μελέτες αξιολόγησης και επιδημιολογικές μελέτες) (European Commission, 2003).

4 ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ADMS 4

4.1 Εισαγωγή

Το ADMS 4 είναι η πιο πρόσφατη έκδοση (2008) της σειράς εξελιγμένων μοντέλων ατμοσφαιρικής διασποράς με την ονομασία ADMS (Atmospheric Dispersion Modelling System). Αναπτύχθηκε από το συμβουλευτικό τομέα σε θέματα περιβαλλοντικής έρευνας του πανεπιστημίου του Cambridge (CERC, Cambridge Environmental Research Consultants), σε συνεργασία με το μετεωρολογικό γραφείο (Met Office) του Ηνωμένου Βασιλείου (H.B), τη Βρετανική εταιρία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας National Power Plc και το πανεπιστήμιο του Surrey. Η πρώτη έκδοση της σειράς μοντέλων διατέθηκε το 1993.

Ανάμεσα στους χρήστες του ADMS 4 περιλαμβάνονται :

- Περισσότερες από 140 εταιρίες στο Η.Β
- Ρυθμιστικές αρχές στο Η.Β
- Περιβαλλοντικά γραφεία στην Αγγλία και την Ουαλία
- Η Υπηρεσία Περιβάλλοντος της Σκωτίας (Scottish Environmental Protection Agency)
- Κυβερνητικοί φορείς του Η.Β όπως η Υπηρεσία Ποιοτικού Ελέγχου Τροφίμων (Food Standards Agency)
- Διάφοροι χρήστες στην Ευρώπη, την Ασία, την Αυστραλία και τη Μέση Ανατολή

Το ADMS 4 είναι μοντέλο ατμοσφαιρικής διασποράς αναγνωρισμένο από την Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Η.Π.Α και ανήκει στην κατηγορία εναλλακτικών μοντέλων, σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των μοντέλων που η ίδια έχει προτείνει. Πρόκειται για ένα Γκαουσιανό μοντέλο ατμοσφαιρικής διασποράς με δυνατότητα υπολογισμών σε επίπεδο μικροκλίμακας, το οποίο μπορεί να προσομοιώσει τη διασπορά πυκνών ρύπων, δηλαδή ρύπων που εκπέμπονται με υψηλότερη θερμοκρασία και χαμηλότερη πυκνότητα από αυτήν του ατμοσφαιρικού αέρα καθώς και ουδέτερων ρύπων, δηλαδή ρύπων που έχουν ίδια θερμοκρασία και πυκνότητα με τον αέρα του περιβάλλοντος εκπομπής τους. Χρησιμοποιεί το μήκος Monin-Obukhov και το ύψος του ΑΟΣ για την περιγραφή του

ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Έχει τη δυνατότητα υπολογισμών για αποστάσεις έως 60 km και παροχής πληροφοριών για αποστάσεις έως και 100 km.

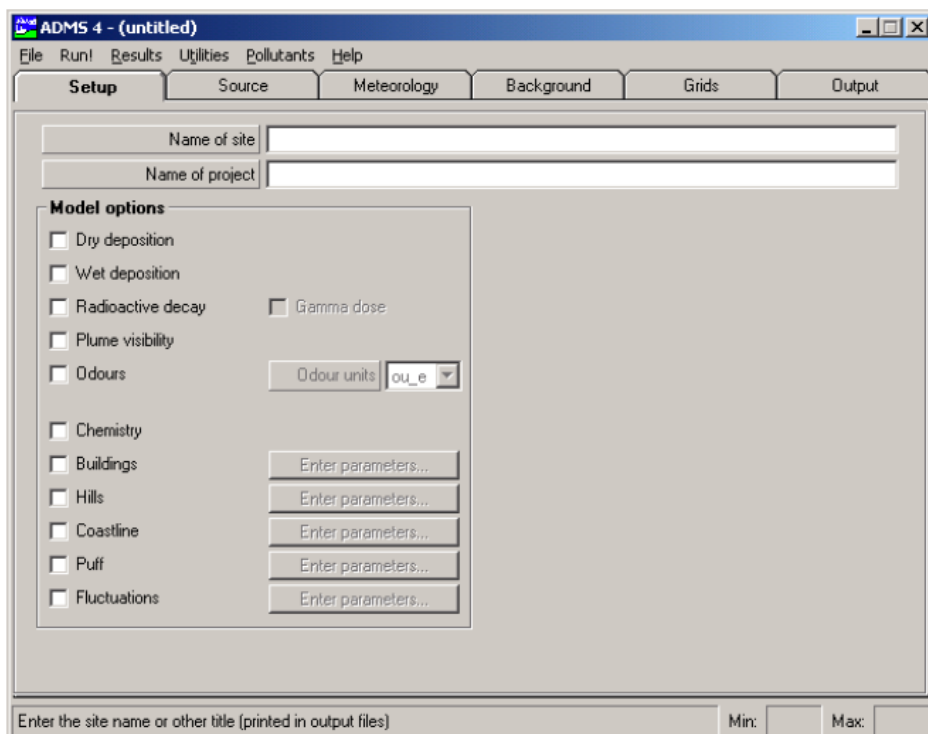
Επίσης είναι εξοπλισμένο με όλα τα κατάλληλα εργαλεία για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης της διασποράς καθώς και την ικανότητα αναγνώρισης δεδομένων σχετικών με τη γεωγραφική και τοπογραφική μορφή μιας περιοχής (Autocad, GIS κ.ά.).

4.2 Εισαγωγή δεδομένων στο ADMS 4

Η εισαγωγή των διάφορων δεδομένων στο μοντέλο διασποράς γίνεται μέσω των παρακάτω 6 καρτελών εισαγωγής (screens), που περιγράφονται ακολούθως.

4.2.1 Setup screen

Σε αυτήν την καρτέλα (Εικ. 1) εισάγονται γενικές πληροφορίες για την εκτέλεση μιας προσομοίωσης. Συγκεκριμένα εισάγεται μια ονομασία για το χώρο (name of site) και το σχέδιο (name of project) προσομοίωσης ενώ υπάρχει και η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε διάφορους τρόπους μοντελοποίησης (model options).



Εικόνα 1. Setup screen

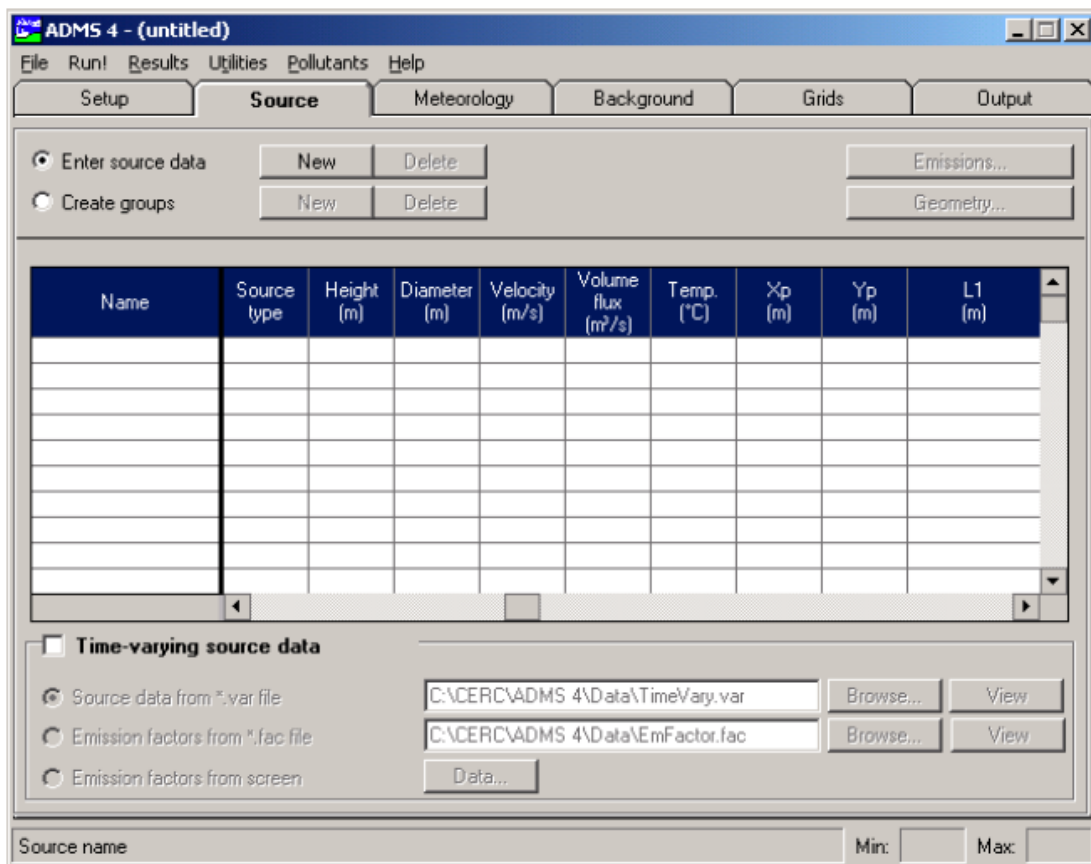
Οι τρόποι μοντελοποίησης που μπορούν να επιλεγούν είναι οι εξής:

- Ξηρή απόθεση (dry deposition). Με αυτήν την επιλογή υπολογίζεται η επίδραση της ξηρής απόθεσης στην κίνηση του πλουμίου και στις τελικές συγκεντρώσεις ρύπων.
- Υγρή απόθεση (wet deposition). Με αυτή την επιλογή υπολογίζεται η επίδραση της υγρής απόθεσης στα μεγέθη που χαρακτηρίζουν το πλούμιο και στις τελικές συγκεντρώσεις ρύπων.
- Ραδιενεργή εξασθένιση (Radioactive decay). Με αυτήν την επιλογή επιλύονται οι διαφορικές εξισώσεις που χαρακτηρίζουν τη μετάπτωση των ραδιενεργών ισότοπων.
- Ορατότητα πλουμίου (Plume visibility). Με αυτήν την επιλογή χρησιμοποιείται η αρχική περιεκτικότητα της εκπομπής σε νερό και η αντίστοιχη περιεκτικότητα του περιβάλλοντος αέρα για να καθοριστεί ο βαθμός ορατότητας του πλουμίου.
- Οσμές (Odours). Με αυτήν την επιλογή υπολογίζεται σε μονάδες ου. η συνολική οσμή που προκύπτει από μια ή περισσότερες εκπομπές.
- Χημικοί μετασχηματισμοί (Chemistry). Με αυτήν την επιλογή χρησιμοποιείται ένα ημι-εμπειρικό φωτοχημικό μοντέλο για τη μείωση των πολύπλοκων αντιδράσεων που θα πρέπει να γίνουν για τον προσδιορισμό των τελικών συγκεντρώσεων NO_x και όζοντος.
- Επίδραση κτηρίων (Buildings). Με αυτήν την επιλογή λαμβάνεται υπόψιν στους υπολογισμούς η επίδραση της ύπαρξης κτηρίων στην περιοχή εκπομπής. Τα απαραίτητα δεδομένα για τους υπολογισμούς δίνονται σε ξεχωριστή καρτέλα (parameters).
- Σύνθετη τοπογραφία (Hills). Με αυτήν την επιλογή λαμβάνεται υπόψιν στους υπολογισμούς η ύπαρξη σύνθετης τοπογραφίας στην περιοχή εκπομπής. Τα απαραίτητα δεδομένα για τους υπολογισμούς δίνονται σε ξεχωριστή καρτέλα (parameters).
- Ακτογραμμή (Coastline). Με αυτήν την επιλογή λαμβάνεται υπόψιν στους υπολογισμούς η ύπαρξη ακτογραμμής ή άλλης μορφής θερμικής μεταβολής με σημαντική επίπτωση κοντά στην περιοχή εκπομπής. Τα απαραίτητα δεδομένα για τους υπολογισμούς δίνονται σε ξεχωριστή καρτέλα (parameters).
- Σύντομη εκπομπή (Puffs). Με αυτήν την επιλογή οι υπολογισμοί λαμβάνουν υπόψιν το γεγονός ότι η εκπομπή έχει μικρή διάρκεια. Τα απαραίτητα δεδομένα για τους υπολογισμούς δίνονται σε ξεχωριστή καρτέλα (parameters).

- Διακυμάνσεις (fluctuations). Με αυτήν την επιλογή παράγονται στατιστικές των διακυμάνσεων στις συγκεντρώσεις ρύπων. Οι λόγοι ύπαρξης διακυμάνσεων μπορεί να είναι αναταράξεις στην ατμόσφαιρα και αλλαγές στη διεύθυνση του ανέμου. Τα απαραίτητα δεδομένα για τους υπολογισμούς δίνονται σε ξεχωριστή καρτέλα (parameters).

4.2.2 Source screen

Στην καρτέλα αυτή (Εικ. 2) εισάγονται δεδομένα για την πηγή και την εκπομπή.



Εικόνα 2. Source screen

Συγκεκριμένα τα δεδομένα που μπορούν να δοθούν μέσω της καρτέλας αυτής είναι τα ακόλουθα:

- Ονομασία της πηγής
- Κύριο κτήριο (επιλογή που χρησιμοποιείται εάν έχει επιλεγθεί να υπολογισθεί η επίδραση κτηρίων στη διασπορά)
- C_p (ειδική θερμοχωρητικότητα) σε $J^\circ C/Kg$
- Μοριακό βάρος σε g

- Πυκνότητα του ρύπου σε kg/m^3
- T, RHO, Ambient Επιλέγεται μια από αυτές τις επιλογές. Όπου T σταθερή θερμοκρασία εκπομπής, RHO πυκνότητα της εκπομπής και Ambient εάν η εκπομπή γίνεται σε θερμοκρασία και πυκνότητα περιβάλλοντος
- Actual ή NTP. Επιλέγεται μια από τις επιλογές. Όπου Actual εάν οι παράμετροι της εκπομπής δίνονται σε πραγματικές θερμοκρασίες και NTP εάν δίνονται σε συνθήκες πίεσης 1 atm και θερμοκρασίας 273.15°K
- Εκροή (efflux). Σε αυτό το σημείο επιλέγεται ο τρόπος μέτρησης της εκροής που μπορεί να είναι ογκομετρική παροχή (Vol.), ταχύτητα εξόδου (exit V.), ροή ορμής (Fm), ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας (Fb) και ρυθμός ροής μάζας (mass)
- Τύπος πηγής. Η πηγή μπορεί να είναι σημειακή (P), όγκου (V), επιφανειακή (A), γραμμική (L) και jet (J). Η πηγή τύπου jet προκαλεί εκπομπή με ταχύτητα εξόδου που έχει οριζόντια και κάθετη συνιστώσα
- Ύψος πηγής σε m
- Διάμετρος πηγής σε m
- Κατακόρυφη ταχύτητα της εκπομπής. Εάν έχει γίνει η επιλογή Actual η μονάδα μέτρησης είναι m/s και εάν έχει γίνει επιλογή NTP είναι Nm/s
- Ροή όγκου (volume flux) σε m^3/s (για actual) ή Nm^3/s (για NTP)
- Θερμοκρασία του ρύπου σε $^\circ\text{C}$
- Xp, Yp. Συντεταγμένες X και Y της πηγής σε m
- L1. Πλάτος γραμμικής πηγής η κατακόρυφη διάσταση πηγής όγκου σε m
- Fm. Ροή ορμής σε m^4/s^2
- Fb. Ρυθμός εκπομπής θερμότητας σε MW
- Ροή μάζας σε kg/s
- Angle 1 ($^\circ$) angle 2 ($^\circ$). Οι επιλογές αυτές χρησιμοποιούνται για πηγές jet. Angle 1 είναι η γωνία ανύψωσης και Angle 2 η οριζόντια διεύθυνση

Τα δεδομένα που εισάγονται στο source screen διαμορφώνονται από τις επιλογές που έχουν γίνει στο setup screen αλλά και από το πρώτο προς το τελευταίο μέγεθος από αυτά που αναφέρθηκαν. Στους Πίνακες 12 έως 14 δίνονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί επιλογών.

Πίνακας 12. Δυνατές επιλογές σύμφωνα με τον τύπο πηγής

Source type	Height	Diameter	Xp	Yp	L1	Angle 1	Angle 2
P	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
A	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
V	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗
L	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗
J	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓

Πίνακας 13. Δυνατές επιλογές σύμφωνα με τον τύπο ροής του ρύπου

Efflux type	Actual or NTP	Velocity	Volume flux	T or RHO	Fm	Fb	Mass Flux
Exit V.	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
Vol.	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗
Fm, Fb	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗
Mass	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓

Πίνακας 14. Δυνατές επιλογές σύμφωνα με τις μεθόδους μοντελοποίησης

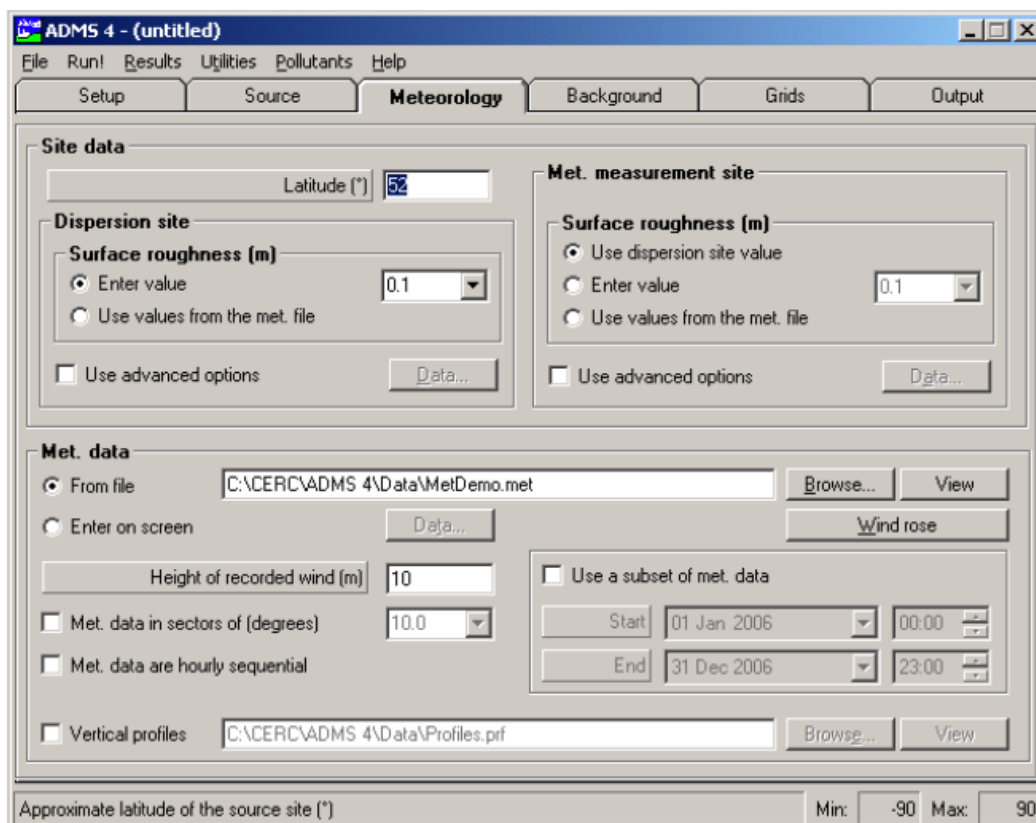
Model option	Point source	Line, area or volume source	Jet source	Multiple sources
Deposition	✓	✓ ¹	✓ ¹	✓
Radioactive decay	✓	✓	✗	✓
Gamma dose	✓	✗	✗	✗
Odours	✓	✓ ²	✓	✓
Plume visibility	✓	✗	✗	✓
Chemistry	✓	✓	✓	✓
Hills	✓	✓	✗	✓
Buildings	✓	³	³	✓
Coastline	✓	✗	✗	✓
Puff	✓	✗	✓	✗
Fluctuations ⁴	✓	✓	✗	✓
Marine boundary layer	✓	✓	✓	✓
Temperature and humidity output	✓	✗	✗	✗
User-entered 3D flow field	✓	✓	✗	✓
Calm conditions	✓	✓	✗	✓
Time-varying sources	✓	✓	✓	✓

* Οι αριθμοί 1, 2, 3 και 4 αφορούν περιορισμούς που προκύπτουν σε συγκεκριμένες περιπτώσεις συνδυασμού τύπου πηγής και μεθόδου μοντελοποίησης

4.2.3 Meteorology screen

Σε αυτήν την καρτέλα (Εικ. 3) δίνονται δεδομένα για την περιοχή της προσομοίωσης και τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν.

Διακρίνονται δυο κύρια τμήματα σε αυτήν την καρτέλα, το site data τμήμα και το Met.data τμήμα. Στο πρώτο εισάγεται το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής της πηγής και η επιφανειακή τραχύτητα του εδάφους της περιοχής ενώ υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής μέσω ξεχωριστού αρχείου, αναλυτικών δεδομένων για την τραχύτητα του εδάφους. Στο δεύτερο εισάγονται το ύψος όπου καταγράφονται τα δεδομένα σχετικά με τον άνεμο και τα μετεωρολογικά στοιχεία είτε μέσω της υποκαρτέλας που φαίνεται στην εικόνα είτε μέσω ξεχωριστού αρχείου με αναλυτικά μετεωρολογικά δεδομένα.



Εικόνα 3. Meteorology screen

Στην υποκαρτέλα εισαγωγής μετεωρολογικών δεδομένων (Εικ. 4) μπορούν να δοθούν δεδομένα για τα παρακάτω:

- Ταχύτητα του ανέμου σε m/s (wind speed)
- Διεύθυνση του ανέμου σε ° (wind angle)
- Έτος (year)
- Αριθμός Ιουλιανής ημέρας (Julian day number)
- Τοπική ώρα (local time)
- Βαθμός νέφωσης (cloud cover) σε oktas
- Θερμοροπή εδάφους (surface sensible heat flux) σε W/m^2

- Ύψος ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος σε m
- Θερμοκρασία εδάφους σε °C
- Πλευρική διάδοση σε °. Η πλευρική διάδοση είναι η τυπική απόκλιση του μέσου ανέμου
- Σχετική υγρασία % (relative humidity)

Meteorological Data

Surface heat flux variables

year/day/time/cloud cover (yr/dy/hr/oktas)

surface sensible heat flux, (W/m²)

Met. parameters to be entered

boundary layer height, h (m)

surface temperature, TOC (°C)

lateral spread (meandering), (°)

relative humidity (%)

Wind speed (m/s)	Wind angle (°)	Year	Julian day number	Local time (hours)	Cloud cover (oktas)	Boundary layer height (m)

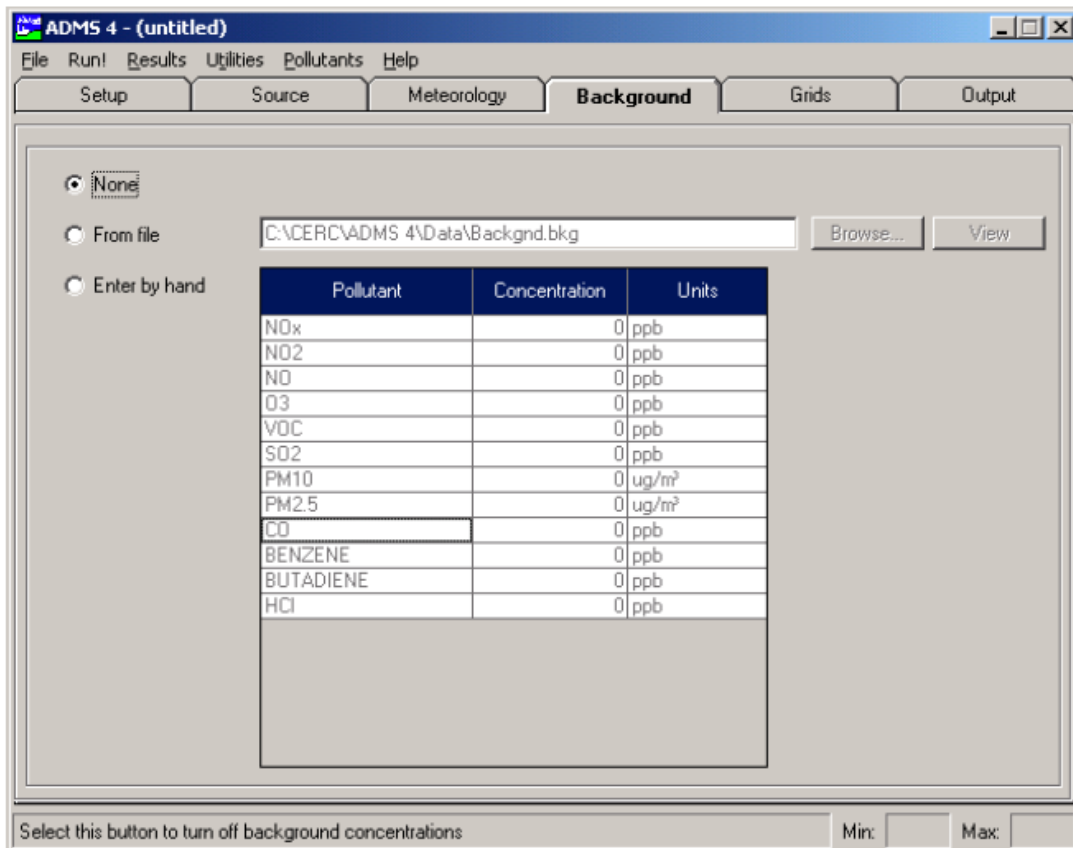
OK Cancel

Select this button to estimate surface heat flux from date, time & cloud Min: Max:

Εικόνα 4. Υποκαρτέλα εισαγωγής μετεωρολογικών δεδομένων

4.2.4 Background screen

Σε αυτήν την καρτέλα (Εικ. 5) δίνονται δεδομένα για υπάρχουσες συγκεντρώσεις ρύπων στην ατμόσφαιρα της περιοχής προσομοίωσης.



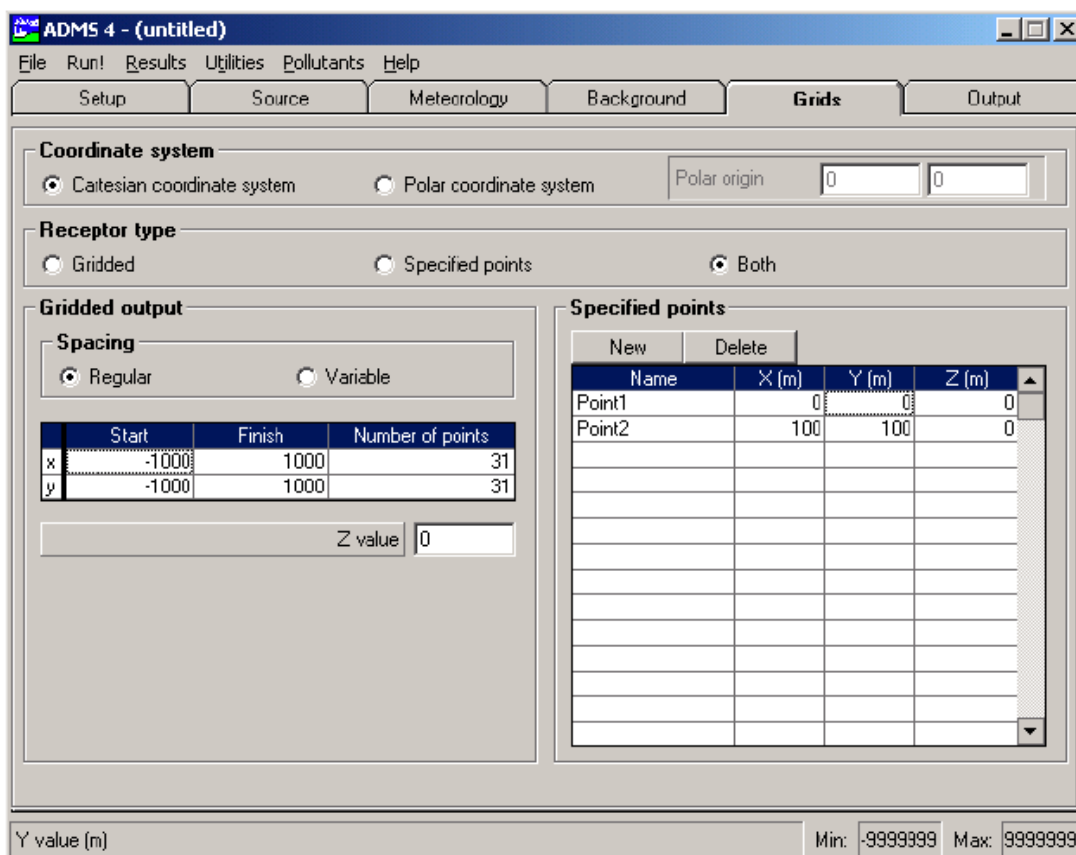
Εικόνα 5. Background screen

Υπάρχει η δυνατότητα να μην εισαχθούν δεδομένα (none), να εισαχθούν δεδομένα μέσω ξεχωριστού αρχείου (from file) και να εισαχθούν δεδομένα στην καρτέλα (enter by hand).

4.2.5 Grids screen

Σε αυτήν την καρτέλα (Εικ. 6) εισάγονται στοιχεία για τον καθορισμό των σημείων στα οποία βρίσκονται οι αποδέκτες (receptors), στα οποία θα υπολογισθούν οι συγκεντρώσεις των ρύπων.

Το σύστημα συντεταγμένων (coordinate system) μπορεί να είναι καρτεσιανό ή πολικό. Ο τύπος του αποδέκτη μπορεί να είναι συγκεκριμένα σημεία (specified points) ή χωροπλέγμα (gridded output). Στην πρώτη περίπτωση θα πρέπει να δοθούν για κάθε αποδέκτη η ονομασία και οι συντεταγμένες του (x,y,z). Στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει να οριστεί το μέγεθος του πλέγματος και ο αριθμός των σημείων στα οποία θα υπάρχουν αποδέκτες (x: start – finish – number of points και y: start – finish – number of points).



Εικόνα 6. Grids screen

4.2.6 Output screen

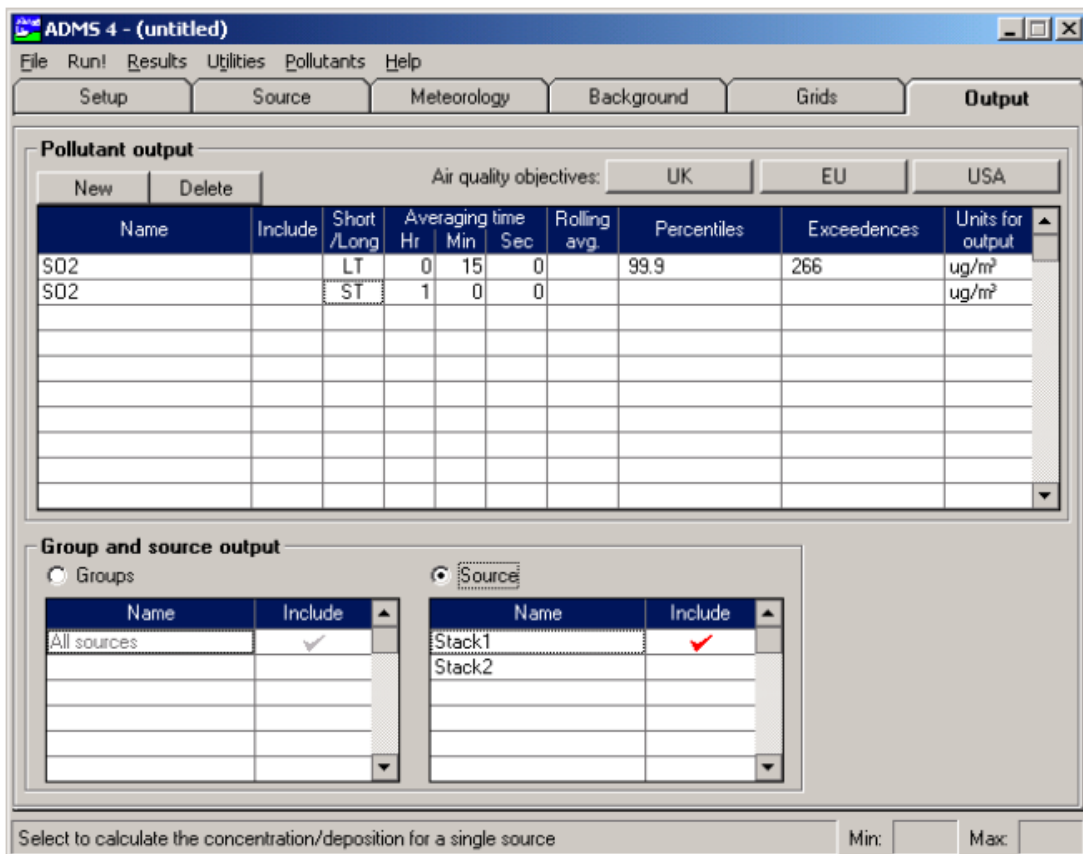
Στην καρτέλα αυτή (Εικ. 7) προσδιορίζονται οι πηγές και οι ρύποι που θα ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης της διασποράς από το μοντέλο.

Στο επάνω τμήμα της καρτέλας επιλέγονται οι ρύποι, των οποίων οι συγκεντρώσεις θα υπολογιστούν και για αυτούς χρειάζεται η εισαγωγή των παρακάτω στοιχείων:

- Όνομα ρύπου (name)
- Εάν ο ρύπος θα συμπεριληφθεί ή όχι στους υπολογισμούς (include)
- Υπολογισμός μέσου όρου για μικρή ή μεγάλη περίοδο (short/long term)
- Χρόνος που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της μέσης συγκέντρωσης του κάθε ρύπου (averaging time)
- Κινητός μέσος όρος (rolling average). Χρησιμοποιείται για averaging time μεγαλύτερο από μία ώρα
- Εκατοστημόρια (percentiles). Εάν δοθεί μια τιμή π.χ 40 ισχύει ότι το 40^ο εκατοστημόριο είναι η συγκέντρωση κάτω από την οποία το 40% των συγκεντρώσεων μειώνεται

- Υπερβάσεις (exceedences). Χρησιμοποιείται για τη σύγκριση με τα πρότυπα ποιότητας αέρα που μπορεί να οριοθετούν έναν αριθμό υπερβάσεων το χρόνο για συγκεκριμένο ρύπο
- Μονάδες (units for output). Επιλέγεται η μονάδα στην οποία θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Οι μονάδες που μπορούν να επιλεγούν είναι g/m^3 , ng/m^3 , $\mu g/m^3$, mg/m^3 , ppb και ppm

Στο κάτω τμήμα της καρτέλας επιλέγονται οι πηγές που θα λάβει υπόψιν η προσομοίωση καθώς και οι ομάδες πηγών που μπορεί να έχουν δημιουργηθεί.



Εικόνα 7. Output screen

4.2.7 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της κάθε προσομοίωσης αποθηκεύονται αυτόματα μετά την εκτέλεση της προσομοίωσης σε φακέλους, η ονομασία των οποίων μπορεί να προσδιοριστεί από το χρήστη. Τα αρχεία των αποτελεσμάτων ανάλογα με τις επιλογές που έχουν γίνει για την προσομοίωση μπορεί να διαφέρουν και να μπορούν να εμφανισθούν μέσω της χρήσης συγκεκριμένων εργαλείων οπτικής παρουσίασης που διαθέτει το ADMS 4. Αυτά τα εργαλεία εμφανίζονται πάντα στην επιλογή results που υπάρχει σε κάθε μια από τις

καρτέλες που αναφέρθηκαν νωρίτερα στο κεφάλαιο και η επιλογή τους έχει σαν αποτέλεσμα τις παρακάτω μεθόδους απεικόνισης:

- Απεικόνιση σε ισόποσες καμπύλες (contour plot)
- Απεικόνιση σε διάγραμμα (line plot)
- Απεικόνιση σε πεδίο ροής (flow field)
- Αριθμητική απεικόνιση (numerical)

Σε κάθε μια από τις παραπάνω μεθόδους απεικόνισης η τελική μορφή μπορεί να διαμορφωθεί από το χρήστη μέσα από ειδικές υποκαρτέλες που εμφανίζονται μετά την επιλογή της μεθόδου.

5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

5.1 Γενικά

Ο συντελεστής εκπομπών (emission factor) είναι μια αντιπροσωπευτική τιμή που έχει ως στόχο να συνδυάσει την ποσότητα ενός ρύπου που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα με την εργασία που ευθύνεται για την απελευθέρωση του εν λόγω ρύπου. Οι συντελεστές αυτοί εκφράζονται συνήθως ως το βάρος του ρύπου ανά μονάδα βάρους, όγκου, απόστασης ή διάρκειας των εργασιών κατά τις οποίες εκπέμπεται ο ρύπος (π.χ. κιλά σωματιδίων που εκπέμπονται ανά megagram του καμένου άνθρακα). Οι συντελεστές αυτοί διευκολύνουν την εκτίμηση των εκπομπών από διάφορες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι συντελεστές αυτοί είναι απλώς μέσοι όροι όλων των αποδεκτών διαθέσιμων στοιχείων και γενικά θεωρούνται αντιπροσωπευτικοί των μακροπρόθεσμων μέσων όρων για όλες τις εγκαταστάσεις μιας κατηγορίας πηγών.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι μη ελεγχόμενες εκπομπές ρύπων μπορούν να υπολογιστούν με τη χρήση συντελεστών εκπομπών, οι οποίοι, όταν συνδυαστούν με συγκεκριμένες πληροφορίες (π.χ. η ιλύς και το ποσοστό υγρασίας του υλικού) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των εκπομπών της εκάστοτε εργασίας που εξετάζουμε.

Οι περισσότερες μελέτες για τον προσδιορισμό συντελεστών εκπομπών για μη ελεγχόμενες εκπομπές έχουν αναληφθεί από τις ΗΠΑ (USEPA, 1985 και USEPA, 1998). Μελέτες υπάρχουν επίσης και από την Αυστραλία (SPCC, 1986 και NERDDC, 1988), οι οποίες μπορεί να μην είναι τόσο περιεκτικές όσο των ΗΠΑ, ωστόσο είναι χρήσιμες καθώς επιβεβαιώνουν ότι οι συντελεστές εκπομπών των ΗΠΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις αυστραλιανές συνθήκες με την προϋπόθεση ότι λαμβάνονται υπόψη οι κατάλληλες μεταβλητές.

Είναι σημαντικό να εξετάζεται πάντα το φάσμα των συνθηκών υπό τις οποίες προσδιορίστηκαν οι συντελεστές για να αποφασίζεται αν είναι κατάλληλοι για την εκάστοτε εργασία. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συντελεστές εκπομπών της USEPA έχουν δημοσιευτεί σε μεγάλο αριθμό αναφορών και συχνά αναφέρονται με διαφορετικούς τρόπους. Η πιο περιεκτική αναφορά των συντελεστών εκπομπών είναι εκείνη στο έγγραφο

της EPA των ΗΠΑ, το οποίο αναφέρεται ως AP-42. Το AP-42 αποτελείται από κεφάλαια, τα οποία ενημερώνονται περιοδικά και είναι διαθέσιμα στην ιστοσελίδα της USEPA (NPi Mining V. 2.3, 2001).

5.2 Αξιολόγηση συντελεστών εκπομπών

Για πολλούς από τους συντελεστές εκπομπών που έχουν δημοσιευθεί υπάρχει ένα σχετικό σύστημα αξιολόγησης (EFR), το οποίο αποτελείται από κάποιους κωδικούς (A,B,C...). Οι κωδικοί αυτοί (EFR) βασίζονται σε συστήματα διαβάθμισης που αναπτύχθηκαν από το ινστιτούτο προστασίας περιβάλλοντος των ΗΠΑ (USEPA) καθώς και από τον ευρωπαϊκό οργανισμό περιβάλλοντος (EEA). Κατά συνέπεια, οι αξιολογήσεις αυτές δεν βρίσκονται σε άμεση αντιστοίχιση με την αυστραλιανή βιομηχανία. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι κωδικοί αυτοί δεν αποτελούν μέρος της βάσης δεδομένων του NPi (National Pollutant inventory).

Όταν χρησιμοποιούνται οι συντελεστές εκπομπών, θα πρέπει να είναι γνωστός ο αντίστοιχος κωδικός EFR και τι αυτός συνεπάγεται. Π.χ. ένας κωδικός A ή B δείχνει μεγαλύτερη αξιοπιστία από έναν κωδικό D ή E. Όσο λιγότερο αξιόπιστος είναι ένας συντελεστής εκπομπών, τόσο πιθανότερο είναι να μην είναι αντιπροσωπευτικός για τον τύπο της πηγής που εξετάζεται. Ωστόσο, το κύριο κριτήριο που επηρεάζει την αξιοπιστία ενός συντελεστή εκπομπών είναι ο βαθμός ομοιότητας μεταξύ του εξοπλισμού ή της εργασίας για την οποία επιλέγεται καθώς και ο στόχος αυτών. Το σύστημα αξιολόγησης EFR έχει ως εξής (NPi Mining V. 2.3, 2001):

A – Άριστη

B – Άνω του μέσου όρου

C – Στο μέσο όρο

D – Κάτω του μέσου όρου

E – Κακή

U – Αναξιόπιστη

5.3 Εξίσωση συντελεστών εκπομπών

Οι συντελεστές εκπομπών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των εκπομπών στο περιβάλλον από διάφορες πηγές. Συνδέουν την ποσότητα της ουσίας που εκπέμπεται από μία πηγή ανάλογα με τον όγκο και το είδος της εργασίας της. Κοινές εργασίες που

λαμβάνονται υπόψη είναι η διανυθείσα απόσταση, η ποσότητα των υλικών, καθώς και η διάρκεια της εργασίας.

Οι συντελεστές εκπομπών χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των εκπομπών μίας εγκατάστασης σύμφωνα με το γενικό τύπο (NPI Mining V. 2.3, 2001):

$$Ek_{py,i} = [A * OpHrs] * EFi * [1 - (CEi / 100)] \quad (5.1)$$

Όπου:

$Ek_{py,i}$ = ρυθμός εκπομπής του ρύπου i , kg/yr

A = παραγωγικότητα μονάδας, t/hr

$OpHrs$ = ώρες λειτουργίας, hr/yr

EFi = emission factor του ρύπου i , kg/t

CEi = ποσοστό ελέγχου για τον ρύπο i , %

Αν δεν γίνεται χρήση του CEi η εξίσωση (5.1) απλοποιείται:

$$Ek_{py,i} = [A * OpHrs] * Efi$$

5.4 Πηγές πληροφόρησης

Ο υπολογισμός εκπομπών για PM-10 είναι μια διαδικασία τεσσάρων βημάτων (NPI Mining V. 2.3, 2001):

1. Ο προσδιορισμός των πηγών ρύπανσης.
2. Η εξασφάλιση πληροφοριών για το μέγεθος των εργασιών που λαμβάνουν χώρα.
3. Η χρήση της κατάλληλης εξίσωσης συντελεστών εκπομπών ή του κατάλληλου προεπιλεγμένου συντελεστή εκπομπών για την κάθε περίπτωση.
4. Όπου αυτό είναι δυνατό, η χρήση των παραμέτρων διόρθωσης ελέγχου αξιοπιστίας, όταν χρησιμοποιείται η εξίσωση (5.1).

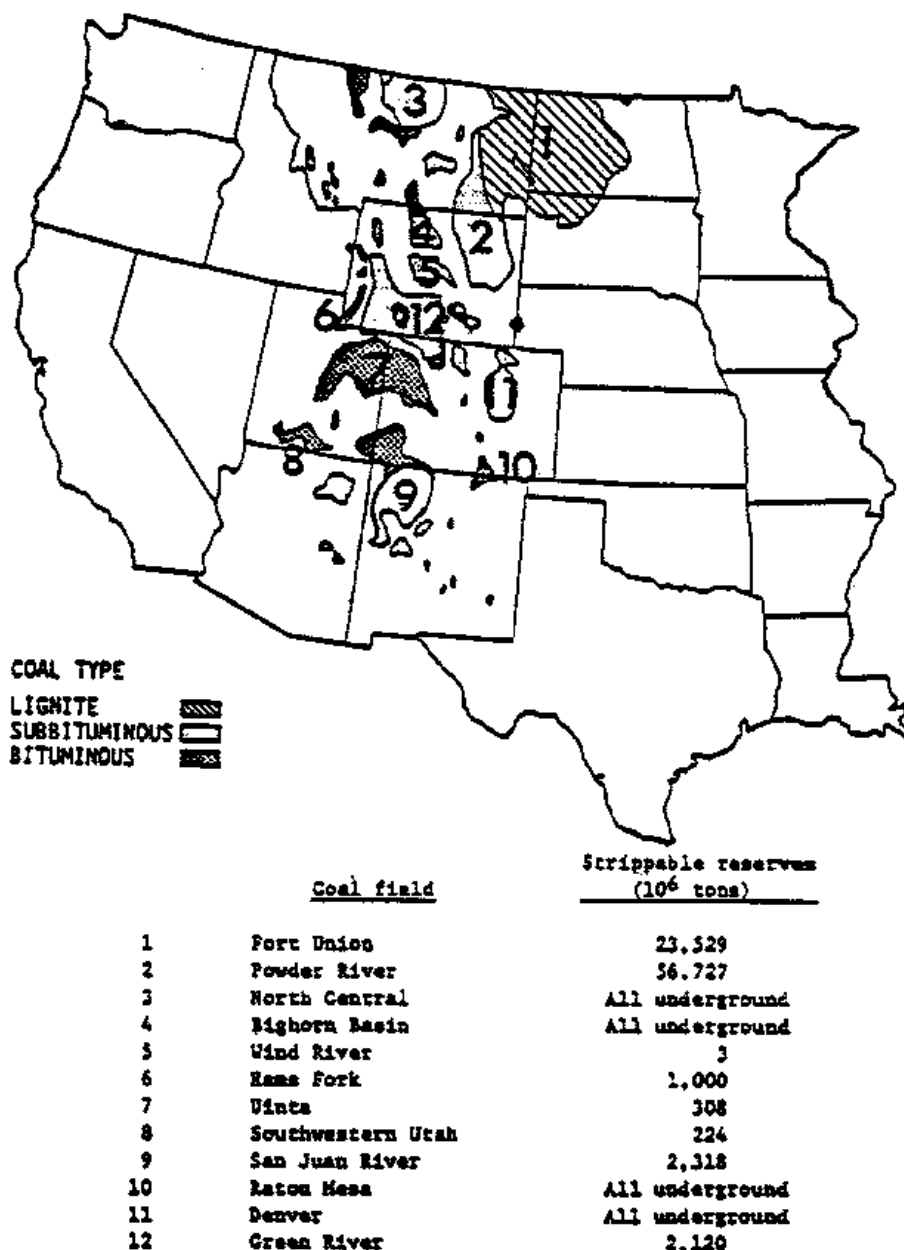
5.4.1 USEPA (AP-42)

Το AP-42 (Compilation of Air Pollutant Emission Factors) έχει δημοσιευθεί από το 1972 ως η πρωταρχική συλλογή πληροφοριών της USEPA για τους συντελεστές εκπομπών. Περιέχει τους συντελεστές εκπομπών καθώς και πληροφορίες για παραπάνω από 200 κατηγορίες πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Μία κατηγορία πηγών αποτελείται από έναν συγκεκριμένο τομέα μιας βιομηχανίας ή από μία ομάδα παρόμοιων πηγών ρύπανσης. Οι συντελεστές εκπομπών έχουν αναπτυχθεί και έχουν συγκεντρωθεί σύμφωνα με στοιχεία από δοκιμές πηγών, μελέτες υλικών και εκτιμήσεις μηχανικών. Η 5η έκδοση του AP-42 δόθηκε στη δημοσιότητα τον Ιανουάριο του 1995. Από τότε η EPA δημοσίευσε

συμπληρώματα και ενημερώσεις για τα 15 κεφάλαια που είναι διαθέσιμα (USEPA, 1998).

Δυτικά ορυχεία γαιάνθρακα επιφανειακής εκμετάλλευσης

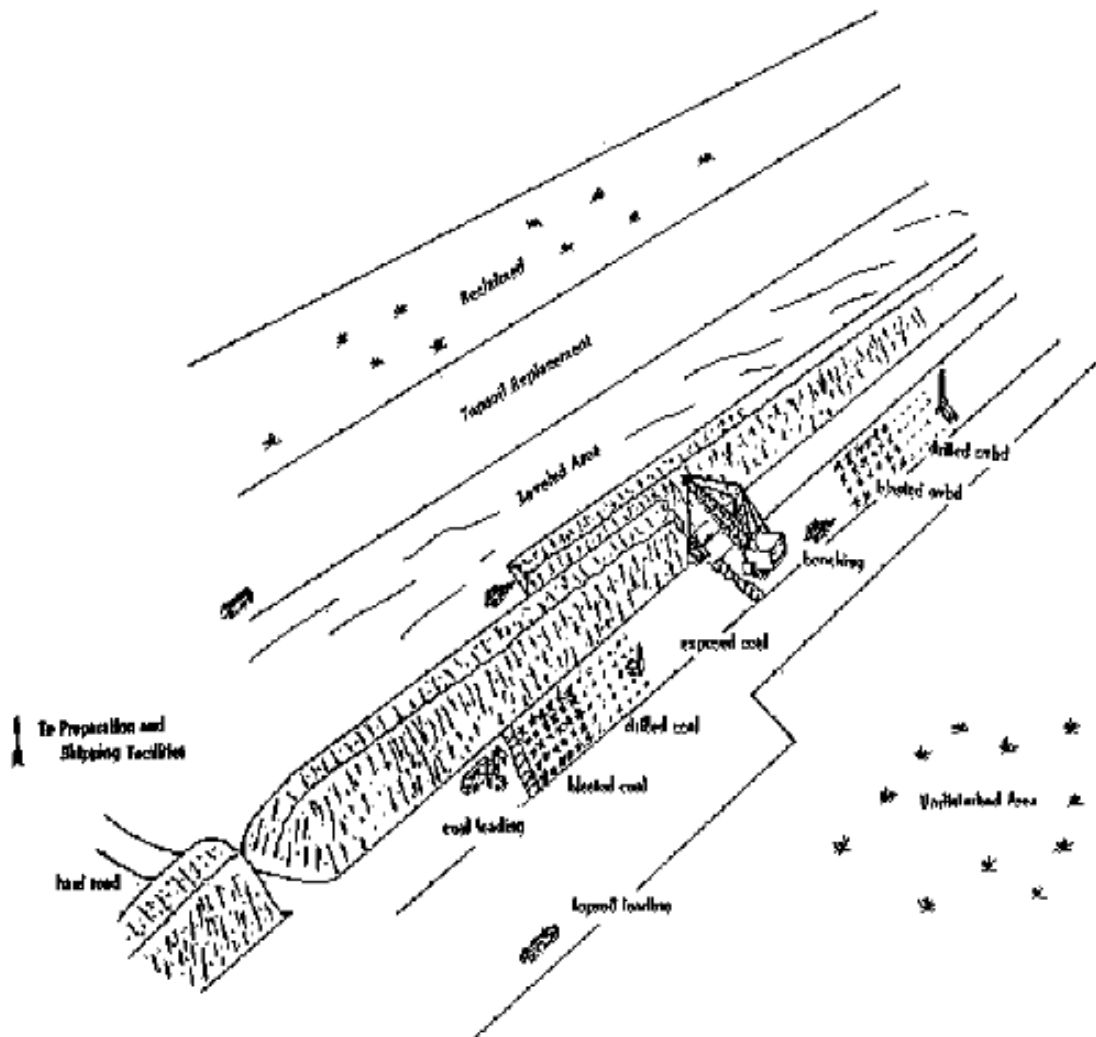
Υπάρχουν 12 κύριοι τομείς του άνθρακα στις δυτικές πολιτείες όπως φαίνεται στην Εικόνα 8. Εξαιρούνται η ακτή του Ειρηνικού και τα πεδία της Αλάσκας. Όλοι μαζί αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 64% των συνολικών αποθεμάτων άνθρακα στις ΗΠΑ.



Εικόνα 8. Τομείς άνθρακα στις δυτικές ΗΠΑ (Πηγή: USEPA, 1998)

Οι 12 αυτοί τομείς έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, ικανά να επηρεάσουν τις τιμές των μη ελεγχόμενων εκπομπών σκόνης από τις δραστηριότητες εξόρυξης. Τέτοια

χαρακτηριστικά είναι το πάχος των υπερκείμενων και του στρώματος άνθρακα καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αυτά εναλλάσσονται, ο εξοπλισμός των ορυχείων, οι διαδικασίες λειτουργίας, το έδαφος, η βλάστηση, οι βροχοπτώσεις και η επιφανειακή υγρασία, οι ταχύτητες του ανέμου και οι θερμοκρασίες. Οι εργασίες που λαμβάνουν χώρα σε ένα τυπικό δυτικό ορυχείο επιφανειακής εκμετάλλευσης φαίνονται στην Εικόνα 9. Όλες οι εργασίες που συνεπάγονται μετακίνηση εδάφους ή άνθρακα, καθώς και η διάβρωση επιφανειών δημιουργούν κάποια ποσότητα αιωρούμενης σκόνης.



Εικόνα 9. Εργασίες σε ένα τυπικό δυτικό ανθρακορυχείο επιφανειακής εκμετάλλευσης (Πηγή: USEPA, 1998)

Πρώτο μέλημα είναι η απομάκρυνση του επιφανειακού εδάφους και του υπεδάφους με μεγάλους αποξεστήρες. Αυτά μεταφέρονται για να καλύψουν μια προγενέστερα εξορυγμένη περιοχή ως μέρος της διαδικασίας αποκατάστασης ή αποτίθενται προσωρινά. Το εκτεθειμένο στρώμα υπερκείμενων, η γη δηλαδή που βρίσκεται μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και του στρώματος άνθρακα,

διαμορφώνεται για να προχωρήσει η διαδικασία διάτρησης και ανατίναξης. Στη συνέχεια, το υλικό των υπερκείμενων μεταφέρεται συνήθως από συρόμενους κάδους ή τσάπες και με φορητά αποτίθεται σε σωρούς. Ακολουθεί διάτρηση και ανατίναξη στο στρώμα άνθρακα που εμφανίζεται. Μια τσάπα ή ένας μετωπικός φορτωτής προμηθεύει τον εξορυγμένο άνθρακα σε φορητά, τα οποία τον μεταφέρουν μέσα από δρόμους σε σημεία απόθεσης. Μερικές φορές μπορεί η απόθεση να είναι προσωρινή και ο άνθρακας να μεταφερθεί στη συνέχεια από ένα φορτωτή ή μια μπουλντόζα.

Στη συνέχεια ο άνθρακας αποτίθεται σε χοάνη που τροφοδοτεί τον κύριο θραυστήρα και με τη βοήθεια πρόσθετου εξοπλισμού μεταφέρεται στους δευτερογενείς θραυστήρες και στους χώρους αποθήκευσης. Αν το ορυχείο διαθέτει σωρούς αποθήκευσης σε ανοικτούς χώρους, τότε ο θρυμματισμένος πλέον άνθρακας κατευθύνεται κατευθείαν επάνω στο σωρό. Μπουλντόζες διαχειρίζονται τους σωρούς, οι οποίοι πολύ συχνά υπόκεινται σε αιολική διάβρωση. Από τον αποθηκευτικό χώρο ο άνθρακας προσκομίζεται στις εγκαταστάσεις φόρτωσης, όπου και τίθεται σε βυτιοφόρα βαγόνια. Σε ένα καθετοποιημένο ορυχείο ο άνθρακας θα χρησιμοποιηθεί κατευθείαν από τον αποθηκευτικό χώρο για την παραγωγή ενέργειας.

Κατά την αποκατάσταση των ορυχείων, μία διαδικασία η οποία προχωρεί καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του ορυχείου, οι σωροί των υπερκείμενων λειαινούνται και οριοθετούνται από τις μπουλντόζες. Στη συνέχεια έχουμε τοποθέτηση του επιφανειακού εδάφους και η γη είναι έτοιμη για την αποκατάσταση της φυτοκάλυψης, του προστατευτικού χώματος, κλπ. Οι διαταραγμένες περιοχές, μέχρι να ανακτήσουν τη βλάστησή τους υπόκεινται σε αιολική διάβρωση (USEPA, 1998).

Εκπομπές

Εξισώσεις για τους συντελεστές εκπομπών για πηγές σκόνης στα δυτικά ανθρακωρυχεία επιφανειακής εκμετάλλευσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 15. Κάθε εξίσωση ισχύει για μία μόνο εργασία παραγωγής σκόνης, όπως π.χ. η κυκλοφορία των οχημάτων στους περιβάλλοντες δρόμους. Η εξίσωση εξηγεί ένα μεγάλο μέρος της παρατηρούμενης διακύμανσης στους συντελεστές εκπομπών συσχετίζοντας τις εκπομπές πηγών σύμφωνα με τρεις σειρές παραμέτρων:

- Όγκος εργασιών πηγής ή δαπανούμενη ενέργεια
- Ιδιότητες υλικού σε περίπτωση διαταραχής
- Κλίμα

Οι εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των εκπομπών

σωματιδίων που δημιουργούνται ανά πηγή ή δραστηριότητα. Οι εξισώσεις αυτές αναπτύχθηκαν σύμφωνα με μελέτες σε διάφορα δυτικά ορυχεία επιφανειακής εκμετάλλευσης και για αυτό το λόγο είναι κατάλληλες για οποιοδήποτε ορυχείο βρίσκεται στις δυτικές ΗΠΑ.

Στον Πίνακα 15, για τις ειδικές διαβαθμίσεις ποιότητας συνυπολογίζονται και οι συνθήκες που επικρατούσαν για τις πηγές που πήραν μέρος στις δοκιμές, ώστε να καταλήξουμε στις εξισώσεις που δίνονται στον Πίνακα 16. Ωστόσο, οι εξισώσεις θα πρέπει να υποστούν μείωση ενός βαθμού ποιότητας (π.χ. A σε B), αν εφαρμοστούν σε ανατολικά υπαίθρια ανθρακωρυχεία.

Για να χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις για τον υπολογισμό εκπομπών σε πηγές σε συγκεκριμένα δυτικά υπαίθρια ανθρακωρυχεία, είναι απαραίτητο να καθοριστούν αξιόπιστες τιμές για τις παραμέτρους διόρθωσης των πηγών ενδιαφέροντος, αν εφαρμοστεί το σύστημα αξιολόγησης ποιότητας των εξισώσεων. Για παράδειγμα, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πραγματική περιεκτικότητα σε άργιλο στον άνθρακα ή στα υπερκείμενα σε μια εγκατάσταση και όχι διάφορες εκτιμώμενες τιμές. Στην περίπτωση που οι τιμές των παραμέτρων διόρθωσης για συγκεκριμένες περιοχές δεν μπορούν να βρεθούν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι γεωμετρικές μέσες τιμές που δίνονται στον Πίνακα 15. Τότε, όμως, κάθε εξίσωση θα πρέπει να υποστεί μείωση ενός βαθμού ποιότητας (USEPA, 1998).

Πίνακας 15. Εξισώσεις συντελεστών εκπομπών για μη ελεγχόμενες υπαίθριες πηγές σκόνης στα ανθρακωρυχεία δυτικής επιφανείας

Δραστηριότητα	Υλικό	Εκπομπές ανά μέγεθος σωματιδίου				Μονάδες	Αξιολόγηση Συντελεστή Εκπομπής
		Εξισώσεις Συντελεστών		Συντελεστές αναγωγής			
		TSP ≤30 μm	≤15 μm	≤10 μm	≤2.5 μm/TSP		
Ανατίναξη	Γαίανθρακας ή υπερκείμενα	$0,00022(A)^{1.5}$	ND	0,52	0,03	Kg/blast	C_DD
Φόρτωση φορτηγών	Γαίανθρακας	$0,580/(M)^{1.2}$	$0,0596/(M)^{0.9}$	0,75	0,019	kg/Mg	BBCC
Ισοπέδωση	Γαίανθρακας	$35,6(s)^{1.2}/(M)^{1.3}$	$8,44(s)^{1.5}/(M)^{1.4}$	0,75	0,022	Kg/hr	CCDD
	Υπερκείμενα	$2,6(s)^{1.2}/(M)^{1.3}$	$0,45(s)^{1.5}/(M)^{1.4}$	0,75	0,105	Kg/hr	BCDD
Εκσκαφή με συρόμενο κάδο	Υπερκείμενα	$0,0046(d)^{1.1}/(M)^{0.3}$	$0,0029(d)^{0.7}/(M)^{0.3}$	0,75	0,017	kg/m ³	BCDD
Λειτουργία ισοπεδωτήρα		$0,0034(S)^{2.5}$	$0,0056(S)^{2.0}$	0,60	0,031	kg/VKT	CCDD
Ενεργή αποθήκευση	Γαίανθρακας	1,8 u	ND	ND	ND	kg/(hectare)(hr)	C _ _ _

(Πηγή: USEPA, 1998)

A = οριζόντια επιφάνεια (ft² / m²) με βάθος ανατίναξης ≤ 70μ

M = περιεχόμενο ποσοστό υγρασίας (%)

s = ποσοστό άμμου στο υλικό (%)

u = ταχύτητα ανέμου (mph / m/s)

d = ύψος ρίψης (ft / m)

W = μέσο βάρος οχημάτων (tons / Mg)

S = μέση ταχύτητα οχημάτων (mph / kph)

w = μέσος αριθμός τροχών

ND = δεν υπάρχουν δεδομένα

Πίνακας 16. Τυπικές τιμές για συντελεστές διόρθωσης κατάλληλους για τις εξισώσεις πρόβλεψης των συντελεστών εκπομπών

Πηγή	Συντελεστής διόρθωσης	Αριθμός δειγμάτων	Μεγέθη	Γεωμετρικός Μέσος	Μονάδες	
Ανατίναξη	Περιοχή ανατίναξης	17	100 – 6800	1590	m ²	
	Περιοχή ανατίναξης	17	1100 - 73000	17000	Ft ²	
Φόρτωση γαιάνθρακα	Υγρασία	7	6,6 – 38	17,8	%	
Μπουλντόζες	Γαιάνθρακας	Υγρασία	3	4 - 22	10,4	%
		Ιλύς	3	6 – 11,3	8,6	%
	Υπερκείμενα	Υγρασία	8	2,2 – 16,8	7,9	%
		Ιλύς	8	3,8 – 15,1	6,9	%
Εκσκαφέας συρόμενου κάδου	Απόσταση ρίψης	19	1,5 - 30	8,6	m	
	Απόσταση ρίψης	19	5 - 100	28,1	ft	
	Υγρασία	7	0,2 – 16,3	3,2	%	
Αποξεστήρας	Ιλύς	10	7,2 – 25,2	16,4	%	
	Βάρος	15	33 - 64	48,8	Mg	
	Βάρος	15	36 - 70	53,8	ton	
Ισοπεδωτήρας	Ταχύτητα	7	8 - 19	11,4	kph	
	Ταχύτητα		5 – 11,8	7,1	mph	
Φορτηγά	Περιεχόμενη ιλύς	61	1,2 – 19,2	4,3	%	
	Υγρασία	60	0,3 – 20,1	2,4	%	
	Βάρος	61	20,9 - 260	110	mg	
	Βάρος	61	23 - 290	120	ton	

(Πηγή: USEPA, 1998)

Οι συντελεστές εκπομπών που δεν καλύπτονται από τον Πίνακα 16, βρίσκονται στον Πίνακα 17. Αυτοί οι συντελεστές προσδιορίστηκαν μέσα από δοκιμές σε διάφορα δυτικά ανθρακωρυχεία.

Οι συντελεστές στον Πίνακα 17 για ορυχεία από το I έως το V αναπτύχθηκαν για συγκεκριμένες περιοχές. Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται στοιχεία για καθένα από αυτά τα ορυχεία. Ένας συντελεστής εκπομπών για συγκεκριμένο ορυχείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο αν τα χαρακτηριστικά του ορυχείου για το οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε τις εκπομπές είναι πολύ παρόμοια με εκείνα του ορυχείου για το οποίο ο συντελεστής προσδιορίστηκε. Οι άλλοι συντελεστές εκπομπών που δεν απευθύνονται σε συγκεκριμένο ορυχείο, αναπτύχθηκαν για διάφορους τύπους ορυχείων και γι' αυτό το λόγο είναι δεκτοί σε οποιοδήποτε δυτικό υπαίθριο ανθρακωρυχείο (USEPA, 1998).

Πίνακας 17. Μη ελεγχόμενοι συντελεστές εκπομπών σωματιδίων για υπαίθριες πηγές σκόνης στα ανθρακωρυχεία δυτικής επιφανείας

Πηγή	Υλικό	Τοποθεσία	Συντελεστής TSP	Μονάδες	Αξιολόγηση συντελεστών
Διάτρηση	Υπερκείμενα	Any	1,3	Lb/hole	C
			0,59	Kg/hole	C
	Γαιάνθρακας	V		Lb/hole	E
				Kg/hole	E
Αφαίρεση φυτικής γης από ισοπεδωτήρα	Φυτική γη	Any	0,058	Lb/ton	E
			0,029	Kg/Mg	E
		IV	0,44	Lb/ton	E
			0,22	Kg/Mg	E
Απόθεση υπερκειμένων	Υπερκείμενα	Any	0,012	Lb/ton	C
			0,006	Kg/Mg	C
Φόρτωση φορητών	Υπερκείμενα	V	0,037	Lb/ton	E
			0,018	Kg/Mg	E
Φόρτωση φορητών	Γαιάνθρακας	Any	0,028	Lb/ton	E
			0,014	Kg/Mg	E
	Γαιάνθρακας	III	0,0002	Lb/ton	E
			0,0001	Kg/Mg	E
Bottom Dump	Υπερκείμενα	V	0,002	Lb/ton	E
			0,001	Kg/Mg	E
	Γαιάνθρακας	IV	0,027	Lb/ton	E
			0,01	Kg/Mg	E
		III	0,005	Lb/ton	E
			0,002	Kg/Mg	E
		II	0,02	Lb/ton	E
			0,01	Kg/Mg	E
		I	0,014	Lb/T	E
			0,007	Kg/Mg	E
Any	0,066	Lb/T	D		
	0,033	Kg/Mg	D		
End Dump	Γαιάνθρακας	V	0,007	Lb/T	E
			0,004	Kg/Mg	E
Εκφόρτωση αποξεστήρα	Φυτική γη	IV	0,04	Lb/T	E
			0,02	Kg/Mg	E
Αιολική διάβρωση	Σπαρμένη γη, αφαίρεση υπερκειμένων	Any	0,38	T/(acre)(yr)	C
			0,85	T/(hectare)(yr)	C

(Πηγή: USEPA, 1998)

Πίνακας 18. Γενικά χαρακτηριστικά των υπαίθριων ανθρακωρυχείων του Πίνακα 17

Ορυχείο	Τοποθεσία	Τύπος γαιάνθρακα	Έδαφος	Φυτοκάλυψη	Είδος επιφανειακού εδάφους/δείκτης διαβρωσιμότητας	Μέση ταχύτητα ανέμου		Μέση ετήσια βροχόπτωση	
						m/s	mph	cm	in.
I	NW Colorado	Subbitum	Μετρίως απόκρημνο	Μέτρια, αρτεμισία	Αργιλικό (71)	2,3	5,1	38	15
II	SW Wyoming	Subbitum	Μετρίως τραχές	Αραιή, αρτεμισία	Άγονο, συσσώρευση αργίλου, αλκαλικών ή ανθρακικών	6,0	13,4	36	14
III	SE Montana	Subbitum	Ήπιο προς μετρίως τραχές	Αραιή, μέτρια, λιβάδια, βοσκοτόπια	Βραχώδη αβαθή κοιτάσματα αργίλου (47)	4,8	10,7	28-41	11-16
IV	Central North Dakota	Λιγνίτης	Ήπιο	Μέτρια, λιβάδια	Αργιλικό, αργιλικό προς αμμώδες	5,0	11,2	43	17
V	NE Wyoming	Subbitum	Επίπεδο	Αραιή, αρτεμισία	Αμμώδες και αργιλικό	6,0	13,4	36	14

(Πηγή: USEPA, 1998)

5.4.2 NPi

Το NPi ιδρύθηκε το 1998 λόγω των συνθηκών των Εθνικών Μέτρων Προστασίας Περιβάλλοντος (NEPM). Είναι μία αυστραλιανή διαδικτυακή βάση δεδομένων, η οποία έχει σχεδιαστεί για να παρέχει στην κοινότητα, στη βιομηχανία και στην κυβέρνηση πληροφορίες για τους τύπους και τις ποσότητες για 93 τοξικές ουσίες που εκπέμπονται στο περιβάλλον. Περισσότερες από 4000 βιομηχανικές εγκαταστάσεις, όπως ορυχεία, σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας και εργοστάσια, εκτιμούν και αναφέρουν ετησίως τις εκπομπές των ρύπων τους και τα δεδομένα αυτά τίθενται στη διάθεση του κοινού. Οι φορείς εκμετάλλευσης των διαφόρων εγκαταστάσεων καθορίζουν τις δικές τους εκπομπές και μεταφορές και οι διάσπαρτες εκπομπές, όπως αυτές των νοικοκυριών και άλλων πηγών υπολογίζονται από κρατικούς φορείς.

Το NPi βασίζεται σε παρόμοιους διεθνείς καταλόγους, γνωστούς ως πρωτόκολλα έκλυσης και μεταφοράς ρύπων (Pollutant Release and Transfer Registers, PRTRs), οι οποίοι αναπτύχθηκαν εξαιτίας της ζήτησης από διάφορες κοινοτικές ομάδες για καλύτερη πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τις βιομηχανικές εκπομπές στο τοπικό τους περιβάλλον. Τα επιθυμητά περιβαλλοντικά αποτελέσματα του προγράμματος NPi είναι τα εξής (NPi Mining V. 2.3, 2001):

- Η διατήρηση και βελτίωση του ατμοσφαιρικού αέρα καθώς και της ποιότητας του

νερού.

- Η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με επικίνδυνα απόβλητα.
- Η βελτίωση της αειφόρου χρήσης των πόρων.

Όσον αφορά στα ανθρακωρυχεία, οι συντελεστές εκπομπής του ΝΡi δίνονται στους ακόλουθους Πίνακες 19 έως 22.

Πίνακας 19. Εξισώσεις συντελεστών εκπομπών και πρότυποι συντελεστές εκπομπών για διάφορες εργασίες στα ανθρακωρυχεία

Εργασία	Εξίσωση TSP	Εξίσωση PM10	Προεπιλεγμένος συντελεστής εκπομπής για TSP	Προεπιλεγμένος συντελεστής εκπομπής για PM10	TSP/PM10 Λόγος βασισμένος στους συντελεστές εκπομπής	Μονάδες	Τάξη συντελεστή εκπομπής
Εκσκαφείας συρόμενου κάδου	$EF = 0,0046 * d^{1,1} * M^{-0,3}$	$EF = 0,0022 * d^{0,7} * M^{-0,3}$	0,06	0,026	0,43	kg/bcm	B
Εκσκαφείς/Τσάπες/Πτυοφόροι φορτωτές (υπερκειμένα)	$EF = k * 0,0016 * (U/2,2)^{1,3} * (M/2)^{-1,4}$, $k=0,74$	As for TSP, using $k=0,35$	0,025	0,012	0,47	kg/t	C
Εκσκαφείς/Τσάπες/Πτυοφόροι φορτωτές (γαιάνθρακας)	$EF = k * 0,0596 * M^{-0,9}$ using $k = 1,56$	As for TSP, using $k=0,75$	0,029	0,014	0,15	kg/t	C
Μπουλντόζες (γαιάνθρακας)	$EF = 35,6 * s^{1,2} * M^{-1,4}$	$EF = 6,33 * s^{1,5} * M^{-1,4}$	102	32,5	0,29	kg/h	B
Μπουλντόζες (\neq γαιάνθρακα)	$EF = 2,6 * s^{1,2} * M^{-1,3}$	$EF = 0,34 * s^{1,5} * M^{-1,4}$	17	4	0,24	kg/h	B
Απόθεση υπερκειμένων	-	-	0,012	0,0043	0,35	kg/t	
Απόθεση γαιάνθρακα	-	-	0,01	0,0042	0,42	kg/t	
Διάτρηση	-	-	0,59	0,31	0,52	kg/hole	B
Ανατίναξη	$EF=344*A^{0,8} * M^{-1,9} * D^{-1,8}$	As for TSP, Multiplying by 0,52	--	--	0,52	kg/blast	C
Εκλυόμενη σκόνη σε χωματόδρομους	$EF = k * (s/12)^A * (W/3)^B / (M/0,2)^C$, where $k = 2,82$	As for TSP, using $k=0,733$	3,88	0,96	0,25	kg/VKT	
Αποξεστήρας	$EF = 7,6 * 10^{-6} * s^{1,3} * W^{2,4}$	$EF = 1,32 * 10^{-6} * s^{1,4} * W^2$	1,64	0,53	0,32	kg/VKT	A
Ισοπεδωτήρας	$EF = 0,0034 * S^{2,5}$	$EF = 0,0034 * S^{2,0}$				kg/VKT	B
Φόρτωση σε σωρούς	-	-	0,004	0,0017	0,42	kg/t	
Εκφόρτωση από σωρούς	-	-	0,03	0,013	0,42	kg/t	
Φόρτωση σε τραίνα	-	-	0,0004	0,00017	0,42	kg/t	
Διάφορα σημεία μεταφοράς	$EF=k * 0,0016(U/2,2)^{1,3} * (M/2)^{-1,4}$, where $k = 0,74$	As for TSP, using $k = 0,35$	0,00032	0,00015	0,47	kg/t	
Αιολική διάβρωση	-	-	0,4	0,2	0,5	kg/ha/h	

(Πηγή: NPι Mining V. 2.3, 2001)

Πίνακας 20. Πρότυποι συντελεστές εκπομπών για διάφορες εργασίες στα ορυχεία μετάλλων

Εργασία	Προεπιλεγμένος συντελεστής εκπομπής για TSP	Προεπιλεγμένος συντελεστής εκπομπής για PM10	Λόγος PM10/TSP	Προεπιλεγμένος συντελεστής εκπομπής για TSP	Προεπιλεγμένος συντελεστής εκπομπής για PM10	Λόγος PM10/TSP	Μονάδες	Τάξη συντελεστή εκπομπής
	Ορυκτό υψηλής περιεχόμενης υγρασίας			Ορυκτό χαμηλής περιεχόμενης υγρασίας				
Πρωτογενής θραύση	0,01	0,004	0,4	0,2	0,02	0,1	kg/t	C
Δευτερογενής θραύση	0,03	0,012	0,4	0,6	NDA		kg/t	D
Τριτογενής θραύση	0,02	0,01	0,33	1,4	0,08	0,06	kg/t	E
Υγρή λείανση (φρεζάρισμα)	0	0		0	0		kg/t	
Ξηρή λείανση με μεταφορά αέρα ή ταξινόμηση	14,4	13	0,9	14,4	13	0,9	kg/t	C
Ξηρή λείανση χωρίς μεταφορά αέρα ή ταξινόμηση	1,2	0,16	0,13	1,2	0,16	0,13	kg/t	D
Ξήρανση (όλα τα ορυκτά εκτός τιτανίου / άμμος ζιρκονίου)	9,8	5,9	0,6	9,8	5,9	0,6	kg/t	C
Χειρισμός, μεταφορά και μετάδοση συμπεριλαμβανομένου καδοφόρων συλλεκτών (≠ βωξίτη)	0,005	0,002	0,4	0,06	0,03	0,5	kg/t	C
Κοσκίνισμα				0,08	0,06	0,75	kg/t	C
Βωξίτης / αλουμίνιο				0,6	NDA		kg/t	C

(Πηγή: NPι Mining V. 2.3, 2001)

Πίνακας 21. Εκτιμώμενοι συντελεστές ελέγχου για διάφορες εξορυκτικές εργασίες

Εργασία	Μέθοδος ελέγχου και μείωση εκπομπών
Ανθρακορυχεία	
Αποξεστήρας σε φυτική γη	50% έλεγχος για έδαφος φυσικά ή τεχνητά υγρό
Μπουλντόζες σε γαιάνθρακα ή άλλο υλικό	Κανένας έλεγχος
Διάτρηση	99% για σακκόφιλτρα
	70% για ψεκασμό νερού
Ανατίναξη σε γαιάνθρακα ή υπερκείμενα	Κανένας έλεγχος
Φόρτωση φορτηγών	Κανένας έλεγχος
Ανάσπυση	50% για το 1 ^ο επίπεδο άρδευσης (2 litres/m ² /h)
	75% για το 2 ^ο επίπεδο άρδευσης (> 2 litres/m ² /h)
Εκφόρτωση φορτηγών	70% για ψεκασμό νερού
Εκσκαφείς συρόμενου κάδου	Έλεγχος σκόνης με ελαχιστοποίηση του ύψους ρίψης
Φόρτωση σε σωρούς	50% για ψεκασμό νερού
	25% για διάφορα ύψοι στοιβών
	75% για ψεκασμό νερού μέσω τηλεσκοπικού κώνου
	99% για το ολικό εγκλεισμό
Εκφόρτωση από σωρούς	50% για ψεκασμό νερού (εκτός αν υπάρχει υπόγεια ανάκτηση, κανένας έλεγχος δεν απαιτείται)
Αιολική διάβρωση από σωρούς	50% για ψεκασμό νερού
	30% για ανεμοθραύστες
	99% για μεταφύτευση (μόνο για υπερκείμενα)
Φόρτωση σε τραίνο	70% για ολικό εγκλεισμό
	99% για ολικό εγκλεισμό και χρήση σακκόφιλτρων
Διάφορες μεταφορές	90% επιτρεπόμενος έλεγχος για ψεκασμό νερού με χημικά
	70% για ολικό εγκλεισμό
	99% για ολικό εγκλεισμό και χρήση σακκόφιλτρων
Μεταλλοφόρα ορυχεία	
Όλες οι εργασίες που αναφέρονται στον πίνακα 20	30% για ανεμοθραύστες
	50% ψεκασμός νερού για να διατηρηθεί υγρό το ορυκτό
	65% για χρήση κυκλώνων
	75% για χρήση πλυντρίδων
	83% για χρήση σακκόφιλτρων
	100% έγκλειστα ή υπόγεια
Διατήρηση Pit	50% για TSP
	5% για PM-10

(Πηγή: Holmes Air Sciences, 1998)

Πίνακας 22. Συντελεστές εκπομπών καυσαερίων για διάφορες κατηγορίες εξορυκτικού εξοπλισμού

Τύπος εξοπλισμού	Συντελεστής εκπομπής (kg/1000 litre καυσίμου)					
	PM-10	CO	NO _x	SO _x (as SO ₂)	VOCs (exhaust)	Τάξη συντελεστή εκπομπής
Ερπυστριοφόρος τράκτορας	3,03	9,4	34,16	1,7	3,31	C
Τροχοφόρος τράκτορας	5,57	32,19	52,35	1,7	7,74	C
Τροχοφόρος μπουλντόζα	17,7	14,73	34,29	1,7	1,58	C
Αποξεστήρας	3,27	10,16	30,99	1,7	2,28	C
Ισοπεδωτήρας	2,66	6,55	30,41	1,7	1,53	C
Ντάμπερ	17,7	14,73	34,29	1,7	1,58	C
Τροχοφόρος φορτωτής	3,51	11,79	38,5	1,7	5,17	C
Ερπυστριοφόρος φορτωτής	2,88	9,93	30,76	1,7	4,85	C

(Πηγή: USEPA, 1998)

5.4.3 Μελέτη συντελεστών εκπομπής στην Ινδία

Οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις άνθρακα δημιουργούν σημαντικά προβλήματα και στην Ινδία. Συγκεκριμένα, αυτός ο τύπος εξορυκτικής δραστηριότητας έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία υψηλών επιπέδων αέριας ρύπανσης. Η καλύτερη δυνατή κατανόηση των αποτελεσμάτων της αέριας ρύπανσης στις υπαίθριες εξορυκτικές περιοχές είναι απαραίτητη για την καταπολέμηση και μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Παρακάτω παρουσιάζεται μια μελέτη η οποία έλαβε χώρα σε ένα μεγάλο ανθρακωρυχείο στην Ινδία, κατά τη διάρκεια της οποίας συλλέχθηκαν δεδομένα παρακολούθησης του αέρα για τέσσερις εποχές. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη εμπειρικής φόρμουλας για τον καθορισμό των ρυθμών εκπομπής για κάθε ρύπο από τις εξορυκτικές δραστηριότητες, εστιάζοντας στα αιωρούμενα σωματίδια σκόνης. Στόχος είναι η εύρεση συντελεστών εκπομπών και η ποσοτικοποίηση των εκπομπών σκόνης από τα ορυχεία (Ghose, 2007).

Υπαίθρια εξορυκτική δραστηριότητα στην Ινδία

Οι ανάγκες της Ινδίας σε γαιάνθρακα υπολογίζεται ότι ήταν 448 εκ. tn (Mt) το 2006-2007. Οι ανάγκες αυτές αναμένεται να αυξηθούν σε 620 Mt το 2011-2012 και σε 1061 Mt το 2024-2025. Το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών αυτών καλύπτεται από υπαίθρια ορυχεία.

Οι υπαίθριες εκμεταλλεύσεις έχουν ως αποτέλεσμα την επιδείνωση της ποιότητας του αέρα εξαιτίας της σκόνης και των αέριων ρύπων. Παρά τις περιβαλλοντικές αυτές

ανησυχίες, οι δυσκολίες που συναντώνται στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις έχουν οδηγήσει σε ολοένα και περισσότερες υπαίθριες δραστηριότητες.

Η αυξανόμενη τάση προς τις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, παράλληλα με τη χρήση βαρέων μηχανημάτων, έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων σκόνης και αέριων ρύπων, γεγονός το οποίο έχει πολύ αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (Ghose, 2007).

Περιοχή μελέτης

Η περιοχή της μελέτης περιλαμβάνει μια μεγάλη υπαίθρια εκμετάλλευση της Bharat Coking Coal Ltd., η οποία βρίσκεται στην ανθρακοφόρο περιοχή Jharia. Η Jharia συμπεριλαμβάνεται στις πιο σημαντικές ανθρακοφόρους περιοχές της Ινδίας καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό του εθνικού αποθέματος της Ινδίας σε γαιάνθρακα βρίσκεται σε αυτήν την περιοχή, στην καρδιά της κοιλάδας Damodar. Απλώνεται κυρίως κατά μήκος της βόρειας όχθης του ποταμού Damodar και καλύπτει περισσότερα από 460 km².

Μετά από την εντατική έρευνα που ξεκίνησε στην περιοχή το 1925, η Jharia μετατράπηκε γρήγορα στον κύριο παραγωγό γαιάνθρακα της Ινδίας. Υπολογίζεται ότι έχει αποθέματα 19.339 Mt σε ένα βάθος 1.219 m.

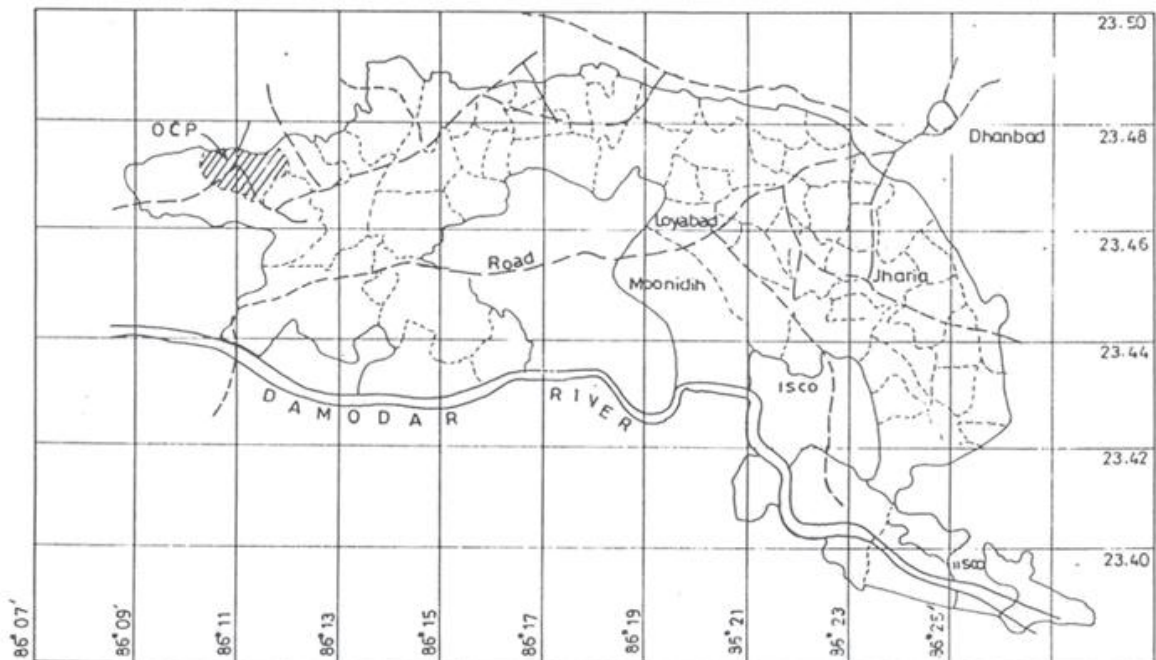
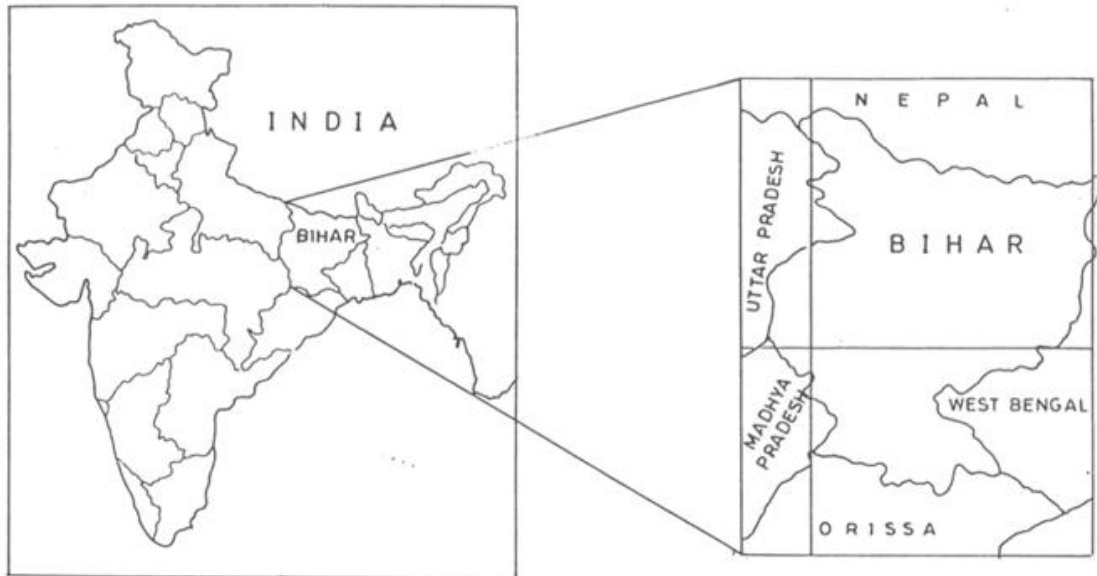
Η μελέτη εστιάζει σε ένα από τα μεγαλύτερα υπαίθρια ανθρακωρυχεία της Bharat Coking Coal Ltd. εντός της ανθρακοφόρου περιοχής της Jharia. Έχε 34,8 Mt αποθεμάτων και παραγωγή της τάξης των 2,5 Mt ετησίως για τα 17 χρόνια λειτουργίας. Περισσότερα στοιχεία παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 23.

Πίνακας 23. Σύνοψη δεδομένων για το υπαίθριο έργο της μελέτης

	Μονάδες	Στοιχεία έργου
Γεωλογικά αποθέματα (που αφορούν το έργο)	Million tonnes	36,7
Ορυκτά αποθέματα	Million tonnes	34,8
Στόχος ετήσιας παραγωγής	Million tonnes	2,5
Έναρξη υπαίθριου έργου	--	1983-84
Διάρκεια έργου	Years	17
Μέγιστο βάθος	meters	220
Μέσος όρος αποκάλυψης	m ³ /tonne	4,88
Σύνολο υπερκειμένων	Mm ³	170,38
Έκταση περιοχής μελέτης	hectares	673,5
Στρώμα εργασίας		X στρώμα (9,62 meters πάχος)
Συνήθης ποιότητα γαιάνθρακα	grade	W-IV
Βάθος στρώματος εργασίας	meters	75 στον τομέα των εκσκαφών συρόμενου κάδου
		60 στον τομέα box cut 3
Επιλογή στρώματος		1 στα 6 στον τομέα των εκσκαφών συρόμενου κάδου
		1 στα 7 στον τομέα box cut 3
Μέσος όρος αποκάλυψης	m ³ /tonne	Τσάπα, Εκσκαφέας συρόμενου κάδου, Τρυπάνι, Σκράπερ, Μπουλντόζα, Ασφάλεια τροφοδοτικού, λοιπός εξοπλισμός

(Πηγή: Ghose, 2007)

Η μελέτη κάλυψε μια περιοχή περίπου 6.8 τετραγωνικών χιλιομέτρων που βρίσκεται ανάμεσα στα γεωγραφικά πλάτη 23°46'30" και 23°47'40" και ανάμεσα στα γεωγραφικά μήκη 86°10'47" και 86°13'31". Η τοποθεσία της περιοχής της μελέτης φαίνεται στην Εικόνα 10. Το κλίμα στην περιοχή είναι τροπικό τύπου μουσώνων. Οι θερμοκρασίες ποικίλλουν από 4 έως 48°C και η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 1,197 χιλιοστά.



Εικόνα 10. Περιοχή μελέτης (Πηγή: Ghose, 2007)

Εκτίμηση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου από εξορυκτικές δραστηριότητες

Η εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Environmental Impact Assessment-EIA) είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη και αξιολόγηση του αρνητικού αντίκτυπου στο περιβάλλον. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της EIA, οι αρχές ελέγχου της αέριας ρύπανσης της Ινδίας πρέπει να αξιολογήσουν τις εκτιμώμενες επιπτώσεις του έργου στην ποιότητα του αέρα και να καθορίσουν ποια θα είναι η διασπορά στις γύρω περιοχές. Ιστορικά, όμως, δεν έχουν υπάρξει σαφώς καθορισμένες κατευθυντήριες γραμμές για την αξιολόγηση αυτών των επιπτώσεων στην εν λόγω χώρα.

Η σκόνη έχει αποδειχθεί ότι είναι ένας βασικός ρύπος στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις, ειδικά όταν χρησιμοποιούν βαρύ εξοπλισμό. Οι συγκεντρώσεις για τα αιωρούμενα σωματίδια στον ατμοσφαιρικό αέρα δεν αυξάνονται πάντα από την εκλύομενη σκόνη στα ορυχεία, καθώς ένα ποσοστό της καθιζάνει στο έδαφος άμεσα. Το ποσοστό εκείνο, όμως, που αυξάνει τα επίπεδα αέριας ρύπανσης μπορεί να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις και να δημιουργήσει προβλήματα στις γύρω περιοχές.

Από τη στιγμή που η περιοχή της μελέτης ήταν περιτριγυρισμένη από άλλα ανθρακωρυχεία, ήταν απαραίτητος ο προσδιορισμός των ήδη υπαρχόντων επιπέδων αέριας ρύπανσης για να καταστεί στη συνέχεια δυνατή η εκτίμηση της πραγματικής παραγωγής ρύπων από την περιοχή της μελέτης. Για να επιτευχθεί αυτό, έγινε παρακολούθηση της αέριας ρύπανσης σε διάφορα δειγματοληπτικά σημεία εντός του συμπλέγματος των ανθρακωρυχείων. Οι σταθμοί παρακολούθησης του ατμοσφαιρικού αέρα επιλέχθηκαν σύμφωνα με τις κύριες κατευθύνσεις του ανέμου που επικρατούν στην περιοχή (Ghose, 2007).

Ανάπτυξη συντελεστών εκπομπών

Ο Cowherd (1982) και η USEPA (1995) έχουν αναπτύξει, όπως περιγράφηκε, μια εμπειρική φόρμουλα για τον προσδιορισμό των ρυθμών εκπομπών σε υπαίθριες εκμεταλλεύσεις γαιάνθρακα στις ΗΠΑ. Οι ρυθμοί εκπομπών, όμως, διαφέρουν στην Ινδία από αυτούς στις ΗΠΑ. Αυτό συμβαίνει διότι οι γεωλογικές και μικροκλιματικές συνθήκες είναι διαφορετικές. Επομένως, η εμπειρική φόρμουλα που χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα ορυχεία της Ινδίας.

Στην Ινδία οι ερευνητές έχουν προβεί σε περιορισμένες μελέτες σχετικά με τη σκόνη από τις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις του γαιάνθρακα. Η συγκεκριμένη μελέτη του Ghose (2007) επιδιώκει να προσφέρει λεπτομερέστερη εκτίμηση των συντελεστών αυτών για τον προσδιορισμό των ρυθμών εκπομπών και η ανάπτυξη εμπειρικής φόρμουλας για κάθε εργασία που λαμβάνει χώρα, λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα της σκόνης που σχηματίζεται και διασκορπίζεται στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις. Τέτοιοι παράγοντες είναι η ευθραυστότητα και η σκληρότητα του υλικού που τελεί υπό επεξεργασία, η ποσότητα της αργίλου ή της ίλυος που περιλαμβάνεται, η περιεχόμενη υγρασία στο υλικό, η ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή καθώς και το μέγεθος του βαρέως εξοπλισμού που χρησιμοποιείται.

Οι εξισώσεις πρόβλεψης παρέχουν μια καλύτερη εκτίμηση για την έκλυση σκόνης στις υπαίθριες εκμεταλλεύσεις. Μερικές τέτοιες εξισώσεις περιγράφονται παρακάτω.

Εργασίες συνεχούς φόρτωσης

Για τις εργασίες συνεχούς φόρτωσης στα ορυχεία συχνά χρησιμοποιούνται καδοφόροι εκσκαφείς. Η ακόλουθη εξίσωση επιτρέπει την εκτίμηση των εκπομπών σωματιδίων από μια τέτοια εργασία:

$$e^{\text{cont-in}} = (0,0018(S/5)(U/5)(h/10))/(M/2)^2$$

όπου:

$e^{\text{cont-in}}$ = εκπομπές σωματιδίων, rounds/t του υλικού που φορτώνεται

S = περιεχόμενη ιλύς, %

U = μέση ταχύτητα ανέμου 4 μέτρα από το έδαφος, miles/hr

H = ύψος πτώσης, feet

M = μη δεσμευμένο ποσοστό υγρασίας του υλικού, %

Εργασίες μη συνεχούς φόρτωσης

Για τις εργασίες μη συνεχούς φόρτωσης συνήθως χρησιμοποιούνται εκσκαφείς με συρόμενο κάδο, εμπρόσθιοι φορτωτές και σιδηροδρομικά βαγόνια απόθεσης. Η εξίσωση παρακάτω αρχικά αναπτύχθηκε για εργασίες με τσάπες, αλλά επεκτάθηκε η χρήση της και για εκσκαφείς με συρόμενο κάδο:

$$e^{\text{batch-in}} = (0,0018(S/5)(U/5)(h/5))/((M/2)^2 (Y/6)^{0,33})$$

όπου:

$e^{\text{batch-in}}$ = εκπομπές σωματιδίων, rounds/t του υλικού που φορτώνεται

S = περιεχόμενη ιλύς, %

U = μέση ταχύτητα ανέμου 4 μέτρα από το έδαφος, miles/hr

H = ύψος πτώσης, feet

M = μη δεσμευμένο ποσοστό υγρασίας του υλικού, %

Y = χωρητικότητα απόθεσης της διάταξης, cubic yard

Κίνηση οχημάτων σε χωματόδρομους

Ο Cowherd (1982) πρότεινε τη χρήση της ακόλουθης εξίσωσης για την εκτίμηση των εκπομπών σωματιδίων από την κίνηση των οχημάτων σε χωματόδρομους:

$$e_u = 5.9 (S/12) (V/30) (n/3)^{0,7} (W/4)^{0,5} (d/365)$$

όπου:

e_u	=εκπομπές σωματιδίων σε χωματόδρομους που προκαλούνται από οχήματα (σωματίδια μικρότερα από 30 μ m και με πυκνότητα 2,5gr/cm ³),pounds
S	=περιεχόμενη ιλύς,%
V	=μέση ταχύτητα οχημάτων,miles/hr
n	=μέσος αριθμός των τροχών των οχημάτων
W	=μέσο βάρος οχημάτων,t
d	=αριθμός των ξηρών ημερών ανά χρόνο

Αιολική διάβρωση από αποθήκευση σε σωρούς

Οι εξορυκτικές εργασίες περιλαμβάνουν εξωτερικές αποθέσεις του υλικού σε ακάλυπτους σωρούς, οι οποίοι υπόκεινται σε αιολική διάβρωση. Η παρακάτω εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό εκπομπών σωματιδίων από σωρούς αποθήκευσης:

$$e_{pile} = 0,05 (S/1.5) (d/235) (F/15) (D/90)$$

όπου:

e_{pile}	=εκπομπές σωματιδίων,pounds
S	=περιεχόμενη ιλύς,%
d	=αριθμός των ξηρών ημερών ανά χρόνο
F	=ποσοστό του χρόνου που η ταχύτητα του ανέμου υπερβαίνει τα 12 miles/hr για ένα μέσο ύψος του σωρού
D	=διάρκεια αποθήκευσης του σωρού,days

Ποσοτικοποίηση των εκπομπών σκόνης στα ορυχεία

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, οι εργασίες στα υπαίθρια ανθρακωρυχεία εκλύουν μεγάλες ποσότητες σκόνης, πράγμα το οποίο έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ποιότητα του αέρα. Η σκόνη που δημιουργείται στο ορυχείο της περιοχής μελέτης αποτελείται από σωματίδια μικρότερα από 500 μ m σε διάμετρο και αιωρούμενα σωματίδια μικρότερα από 100 μ m.

Η υπαίθρια εξόρυξη περιλαμβάνει μια σειρά από στάδια, όπως την αφαίρεση του επιφανειακού εδάφους, την απομάκρυνση των υπερκειμένων, την εξόρυξη του γαιάνθρακα, τη μείωση του μεγέθους του και τη μεταφορά του στις παρακαμπτήριες σιδηροδρομικές γραμμές. Η συνολική ποσότητα της σκόνης που παράγεται στα διάφορα στάδια ποσοτικοποιήθηκε σύμφωνα με τη χρήση δεδομένων για τους συντελεστές εκπομπών, που παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 24.

Πίνακας 24. Συντελεστές εκπομπών που αναπτύχθηκαν για διάφορες εξορυκτικές εργασίες

Πηγή	Συντελεστής εκπομπής	Μονάδες
Εκσκαφή υπερκειμένων		
Φόρτωση σκράπερ	Κανένα δεδομένο	
Εκσκαφή τσάπας	1,0 to 3,0	kg/t
Εκσκαφή καδοφόρου εκσκαφέα	0,7 to 2,0	kg/t
Φόρτωση σε οχήματα	0,7 to 0,4	kg/t
Μεταφορά		
Ταινιόδρομοι	0,5 to 0,1	kg/t (κάθε σημείο σύνδεσης)
Ντάμπερ (συνολική εκπομπή σε kg/vehicle/km/day)	1,5 to 3	Kg/km (σήραγγα χωμάτινης ξηρής επιφάνειας)
Ντάμπερ	0,1 to 3	kg/km (σήραγγα με χωμάτινη επιφάνεια)
Εκφόρτωση και αποθήκευση		
Σύστημα μεταφοράς	0,8 to 1,5	kg/t
Ντάμπερ - μπουλντόζες	1,5 to 4,0	kg/t
Εκσκαφή ορυκτού		
Καδοφόροι εκσκαφείς	0,5 to 1,0	kg/t
Τσάπες	0,8 to 1,5	kg/t
Φόρτωση σε ταινιόδρομους	0,08 to 01	kg/t (κάθε σημείο μεταφοράς)
Φόρτωση ντάμπερ	0,07 to 0,3	kg/t average
Μεταφορά		
Ταινιόδρομοι	0,05 to 0,1	kg/t (κάθε σημείο μεταφοράς)
Ντάμπερ / φορτηγά	1,5 to 3,0	kg/km (κίνηση σε ξηρή επιφάνεια)
Ντάμπερ / φορτηγά	0,2 to 0,5	kg/km (κίνηση σε χωματόδρομο)
Φόρτωση και αποθήκευση σε σωρούς		
Μεταφορά	1,0 to 2,5	kg/t
Ντάμπερ / χειροκίνητα	1,5 to 4,0	kg/t
Μείωση μεγέθους		
Θραυστήρας με σιαγόνες	1,5 to 2,5	kg/t
Σκρίνινγκ	2,5 to 5,0	kg/t
Φόρτωση	0,8 to 5,0	kg/t
Αποθήκευση σε σωρούς και ανάκτηση	1,0 to 4,0	kg/t

(Πηγή: Ghose, 2007)

Οι ρύποι που προέρχονται από τις εργασίες εξόρυξης δεν διασπείρονται όλοι στην ατμόσφαιρα. Αντίθετα τα μεγαλύτερα σωματίδια κατακάθονται στο έδαφος και μόνο το μικρότερο ποσοστό των αιωρούμενων σωματιδίων μένει στον αέρα. Τα μεγαλύτερα

σωματίδια σκόνης παράγονται σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες από αυτές των αιωρούμενων.

Με τη βοήθεια των παραπάνω εξισώσεων και βάσει των τοπικών συνθηκών, υπολογίστηκε ότι, σε καθημερινή βάση, η αφαίρεση του επιφανειακού εδάφους δημιούργησε 69,9 kg σκόνης, ενώ η απομάκρυνση των υπερκειμένων 660 kg. Πολύ περισσότερη σκόνη δημιουργείται από τις εργασίες μείωσης μεγέθους (6812,2 kg ανά ημέρα). Γενικά, οι διάφορες εξορυκτικές δραστηριότητες που έλαβαν χώρα στην περιοχή μελέτης είχαν ως αποτέλεσμα 7798 kg σκόνης την ημέρα.

Η αιολική διάβρωση μπορεί επίσης να προκαλέσει σημαντικές ποσότητες σκόνης ανάλογα με την ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου καθώς και άλλες μικροκλιματικές συνθήκες. Υπολογίστηκε ότι σε μια έκταση 673 εκταρίων εκλύονται περίπου 1568 kg σκόνης την ημέρα λόγω της αιολικής διάβρωσης.

Συνολικά, υπολογίστηκαν 9,36t σκόνης ανά ημέρα από την υπαίθρια εξόρυξη στην περιοχή μελέτης κατά την περίοδο πριν τους μουσώνες. Η σκόνη που προκαλείται έχει τις κύριες επιπτώσεις της στον αέρα της ζώνης εργασίας με σταδιακή διασπορά και αραιώση στις γύρω περιοχές ανάλογα με τον άνεμο (Ghose, 2007).

5.4.4 Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος Καναδά

Στον Καναδά η Υπηρεσία Environment Canada έχει ως στόχο την προστασία του περιβάλλοντος, τη διατήρηση της φυσικής κληρονομιάς της χώρας και την παροχή καιρικών και μετεωρολογικών προγνώσεων με σκοπό την πληροφόρηση και την ασφάλεια των Καναδών πολιτών.

Η Environment Canada είναι μια ποικιλόμορφη οργάνωση όπου τα προγράμματα, οι υπηρεσίες και το προσωπικό της χαράζουν το δρόμο για την εφαρμογή από την κυβέρνηση του Καναδά του περιβαλλοντικού προγράμματος δράσης της χώρας. Οι αρμοδιότητες της οργάνωσης συνοψίζονται ως εξής:

- Διατήρηση και βελτίωση του φυσικού περιβάλλοντος συμπεριλαμβανομένου του νερού, του αέρα, του εδάφους, της χλωρίδας και της πανίδας.
- Διατήρηση των ανανεώσιμων πηγών του Καναδά.
- Διατήρηση και προστασία των υδάτινων πόρων του Καναδά.
- Καθημερινή πρόγνωση καιρικών συνθηκών και προειδοποιήσεων και παροχή λεπτομερών μετεωρολογικών πληροφοριών για τον καθένα.
- Επιβολή κανόνων σχετικά με τα νερά.

- Συντονισμός των περιβαλλοντικών πολιτικών και προγραμμάτων για την ομοσπονδιακή κυβέρνηση.

Παρακάτω στον Πίνακα 25 δίνονται οι συντελεστές εκπομπής της Environment Canada.

Πίνακας 25. Συντελεστές εκπομπών που αναπτύχθηκαν για διάφορες εξορυκτικές εργασίες

Πηγή εκπομπής		Συντελεστής εκπομπής TSP (kg/t)	Συντελεστής εκπομπής PM-10 (kg/t)	Συντελεστής εκπομπής PM-2,5 (kg/t)
Πρωτογενής θραύση	Μη ελεγχόμενη	0,0027	0,0012	0,0006
Δευτερογενής θραύση	Ελεγχόμενη	0,0006	0,00027	0,00005
Τριτογενής θραύση				
Όρια θραύσης	Μη ελεγχόμενη	0,0195	0,0075	-
	Ελεγχόμενη	0,0015	0,0006	0,000035
Κοσκίνισμα	Μη ελεγχόμενη	0,0125	0,0043	-
	Ελεγχόμενη	0,0011	0,00037	0,000025
Όρια κοσκίνισματος	Μη ελεγχόμενη	0,15	0,036	-
	Ελεγχόμενη	0,0018	0,0011	-
Λείανση (ξηρή) με έλεγχο σακκόφιλτρων		0,0202	0,0169	0,006
Ταξινόμηση (ξηρή) με έλεγχο σακκόφιλτρων		0,0112	0,0052	0,002
Ταχεία ξήρανση με έλεγχο σακκόφιλτρων		0,0134	0,0073	0,0042
Αποθήκευση με έλεγχο σακκόφιλτρων		0,0055	0,0008	0,0003
Σημεία συστήματος μεταφοράς	Μη ελεγχόμενη	0,0015	0,00055	-
	Ελεγχόμενη	0,00007	0,000023	0,0000065

(Πηγή: USEPA, 1998)

6 ΜΕΛΕΤΗ ΟΡΥΧΕΙΟΥ ΝΟΤΙΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, το οποίο αποτελεί την «καρδιά» της παρούσας εργασίας εκτιμώνται οι φυσικές επιδράσεις και οι οικονομικές επιπτώσεις των εκπομπών σωματιδίων PM-10 από την εξόρυξη λιγνίτη, με συνεχές σύστημα, στο Ορυχείο Νοτίου Πεδίου του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας. Σε αυτό το πλαίσιο περιγράφονται το Ορυχείο Νοτίου Πεδίου και η ευρύτερη περιοχή της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας. Επίσης, παρατίθενται αναλυτικά οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στο λογισμικό για τη μοντελοποίηση της διασποράς των αιωρούμενων σωματιδίων PM-10, καθώς και τα στοιχεία που αξιοποιήθηκαν για την εκτίμηση των φυσικών επιπτώσεων (εξισώσεις δόσης - απόκρισης) και για την αποτίμησή τους σε χρηματικούς όρους (οικονομικές τιμές μονάδας της επίπτωσης). Τέλος, παρουσιάζονται και συζητούνται τα εξαγόμενα αποτελέσματα.

6.2 Ορυχείο νοτίου πεδίου

Το Νότιο Πεδίο αποτελεί την προς νότο συνέχεια των κοιτασμάτων του Κύριου Πεδίου. Το ορυχείο νοτίου πεδίου ξεκίνησε τη λειτουργία του το 1980 και έχει αναπτυχθεί σε μια έκταση περίπου 7.647 στρ., η οποία αποτελεί και την περιοχή εκσκαφών. Στην τελική του μορφή το 2044 υπολογίζεται ότι θα καλύπτει συνολική έκταση περίπου 19.304,5 στρ. Αποτελεί το μεγαλύτερο εν ενεργεία ορυχείο της ΔΕΗ.

Τα απομένοντα εκμεταλλεύσιμα λιγνιτικά αποθέματα του κοιτάσματος στο Νότιο Πεδίο, όπως έχει αναφερθεί, έχουν υπολογιστεί σε $432,7 \times 10^6$ t. Αυτό αντιστοιχεί στο 41,9% των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων των ορυχείων Πτολεμαΐδας μέχρι το τέλος της λειτουργίας τους, το 2050. Οι συνολικές εκσκαφές θα είναι 3.019×10^6 m³ και η μέση σχέση εκμετάλλευσης 6,1:1 m³/t.

Για την ολοκληρωμένη ανάπτυξη του Ορυχείου Νοτίου Πεδίου προς βορειοανατολικά, στην περιοχή του οικισμού Πτελαιώνα, απαιτείται συνολική έκταση 3.125 στρ. περίπου για τις εξωτερικές αποθέσεις αγόνων. Γενικά οι αποθέσεις αγόνων

γίνονται εσωτερικά του ορυχείου, αλλά και εξωτερικά στο εξαντλημένο ορυχείο της ανατολικής επέκτασης Κομάνου και σε περιοχή κοντά στην Ακρινή. Από το 2018 περίπου θα υπάρχει αποκλειστικά εσωτερική απόθεση.

Η ετήσια παραγωγή του Νοτίου Πεδίου υπολογίζεται ότι θα κυμανθεί από 10×10^6 έως 20×10^6 t λιγνίτη. Με την ποσότητα αυτή παράγεται ηλεκτρική ενέργεια που καλύπτει περίπου το 10,4% έως 20,8% των συνολικών τρεχουσών αναγκών της χώρας. Συνεπώς, το ορυχείο νοτίου πεδίου αποτελεί το πιο σημαντικό από τα ορυχεία της Πτολεμαΐδας για τα επόμενα 40 χρόνια και η λειτουργία του κρίνεται ιδιαίτερος σημαντική στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή της χώρας (ΜΠΕ ορυχείων Πτολεμαΐδας, Ν. Κοζάνης, 2010).

6.2.1 Ανάπτυξη Ορυχείου Νότιου Πεδίου

Το ορυχείο είναι χωρισμένο σε έντεκα τομείς λειτουργίας και, σήμερα, η ανάπτυξη του βρίσκεται στον τομέα 5. Η εξόφληση του μέχρι και τον τομέα 6 έχει προγραμματιστεί με τους σημερινούς κόμβους ταινιόδρομων με δεξιόστροφη στροφική λειτουργία. Υπάρχουν χωριστοί κόμβοι ταινιόδρομων για τη διακίνηση των υπερκειμένων αγόνων και του λιγνιτικού κοιτάσματος.

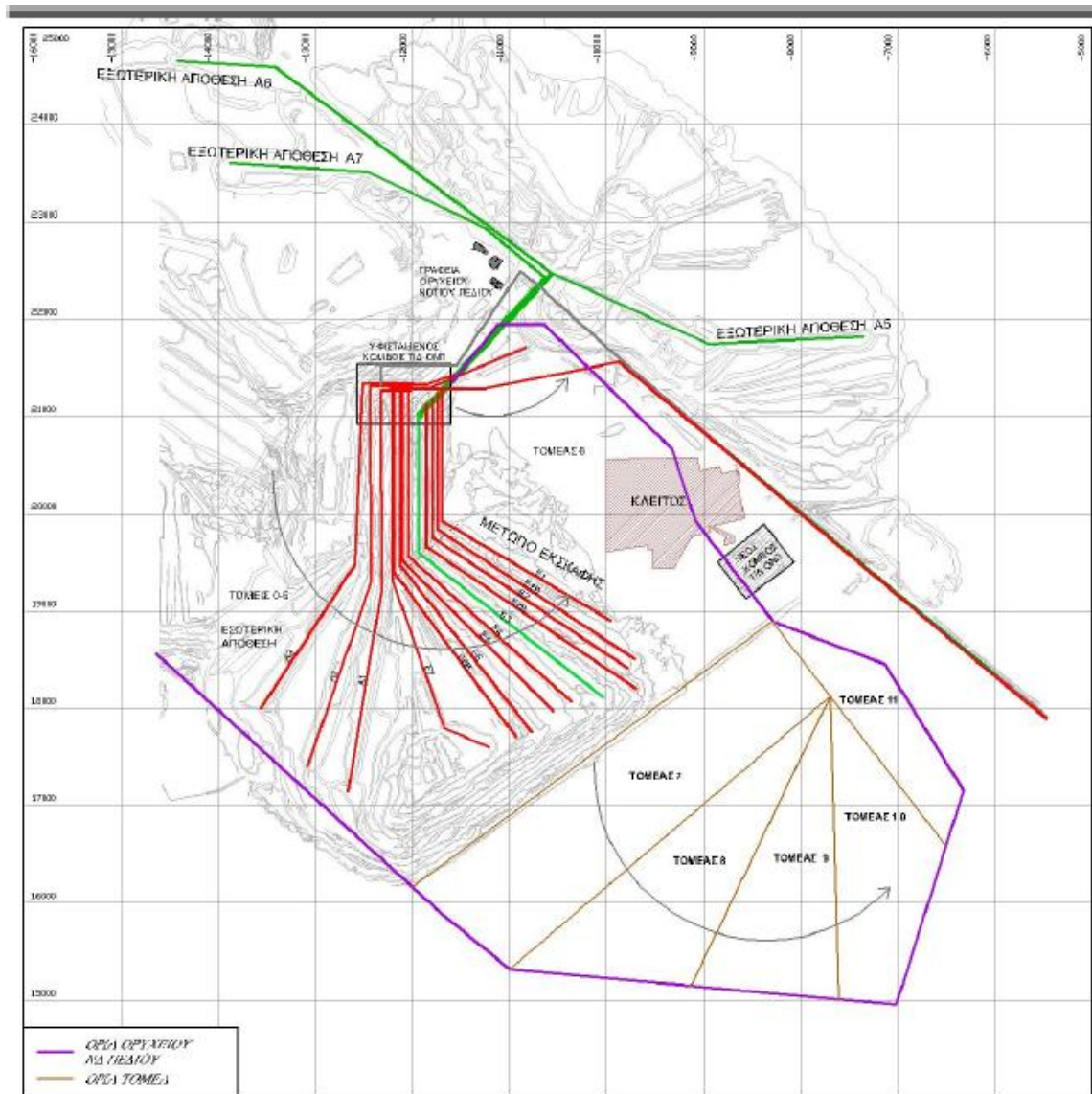
Η υφιστάμενη ανάπτυξη του ορυχείου περιλαμβάνει:

- Πέντε τομές υπερκειμένων (1A, 1B, 2A, 2B, 3), στις οποίες βρίσκονται σε λειτουργία πέντε καδοφόροι εκσκαφείς (E1A, E1B, E2A, E2B, E3) του συστήματος.
- Τέσσερις τομές λιγνίτη (4, 5, 6A, 6B), στις οποίες βρίσκονται σε λειτουργία τέσσερις καδοφόροι εκσκαφείς (E4, E5, E6A, E6B) του συστήματος.

Στο ορυχείο νοτίου πεδίου οι καδοφόροι εκσκαφείς είναι διασυνδεδεμένοι με έξι αποθέτες (A1, A2, A3, A5, A6, A7). Πιο συγκεκριμένα, οι καδοφόροι εκσκαφείς είναι διασυνδεδεμένοι με τρεις αποθέτες (A1, A2, A3) για την εσωτερική απόθεση των αγόνων του ορυχείου και με τρεις αποθέτες (A5, A6, A7) για την εξωτερική απόθεση. Οι αποθέτες A6 και A7 λειτουργούν στην περιοχή της ανατολικής επέκτασης Κομάνου και όταν ολοκληρώσουν τη λειτουργία τους θα ενταχθούν στην εσωτερική απόθεση αγόνων του ορυχείου τα έτη 2016 και 2017 αντίστοιχα. Ο αποθέτης A5, αφού ολοκληρώσει τη λειτουργία του στη σημερινή του θέση κοντά στην Ακρινή, θα μεταφερθεί στην περιοχή του οικισμού Πτελαιώνα το 2012 και το 2019 αναμένεται να ενταχθεί στην εσωτερική απόθεση του ορυχείου.

Η ανάπτυξη του ορυχείου στους τομείς 7 έως 11 θα γίνει με νέο κόμβο ταινιόδρομων. Ο νέος κόμβος πρόκειται να τεθεί σε λειτουργία το 2012, οπότε και

προβλέπεται η ένταξη των εκσκαφέων στον τομέα 7 μέσω του κόμβου. Σημειώνεται ότι ο εκσκαφέας E7 θα συνδεθεί απευθείας με την εξωτερική απόθεση αγόνων. Όσα αναφέρθηκαν παραπάνω συνοψίζονται στο ακόλουθο σχέδιο (Εικ. 11) (ΜΠΕ ορυχείων Πτολεμαΐδας, Ν. Κοζάνης, 2010).



Εικόνα 11. Υφιστάμενη κατάσταση και γενικό σχέδιο ανάπτυξης Νοτίου Πεδίου (Πηγή: ΜΠΕ ορυχείων Πτολεμαΐδας, Ν. Κοζάνης, 2010)

6.2.2 Εξοπλισμός

Ο πάγιος εξοπλισμός του υπό μελέτη ορυχείου παρουσιάζεται στον Πίνακα 26. Εκτός από τον πάγιο εξοπλισμό περιλαμβάνονται και 2 ηλεκτροκίνητα Shovel P&H και BLE 2100.

Πίνακας 26. Πάγιος εξοπλισμός Ορυχείου Νοτίου Πεδίου

ΤΥΠΟΣ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ	ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ (Lm ³ /h)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΔΟΥ (Lm ³)	ΑΡΙΘΜΟΣ
ΕΚΣΚΑΦΕΙΣ				
SRs 2000/5x32	TAKRAF	4170/6050	2,10	4
SRs 2000/3x33	TAKRAF	3970/5760	2,00	2
SchRs 2300/5x32	THYSSENKRUPP	4188/6072	2,30	1
SchRs 1760/5x32	THYSSENKRUPP	4207/6100	1,76	2
SchRs 3700/2,5x30	THYSSENKRUPP	7586/11100	3,70	1
ΑΠΟΘΕΤΕΣ				
Ars 2400 / (40+70x18)	MAN	11000		3
A2Rs-B6700-60	TAKRAF	6700		3
ΤΑΙΝΙΟΔΡΟΜΟΙ (Τ/Δ)				
93 km Τ/Δ πλάτους: 1,2 - 1,8 -2,4m				

(Πηγή: ΜΠΕ ορυχείων Πτολεμαΐδας, Ν. Κοζάνης, 2010)

Το ορυχείο διαθέτει και ντιζελοκίνητο βοηθητικό εξοπλισμό, ο οποίος αναλύεται στον Πίνακα 27.

Πίνακας 27. Ντιζελοκίνητος βοηθητικός εξοπλισμός Ορυχείου Νοτίου Πεδίου

Μηχάνημα	Τύπος	Αριθμός
	CAT D11	4
	KOMATCU κλάσης D11 νέοι	4
	KOMATCU κλάσης D11 παλαιοί	4
Προωθητές	D9	27
	D8	3
	Τροχοφόροι	5
	Γερανοφόροι	7
	MARATHON	2
Φορτωτές	Εργοταξίων 5m ³ - Τροχοφόροι	4
	Εργοταξίων 5m ³ - Ερπυστριοφόροι	1
	Καθαρισμού	12
	Shovels Liebherr 944 παλαιά	3
	Shovels Liebherr 944 νέα	1
Εκσκαπτικά	Τσάπα Liebherr 984	1
	Shovel demag	1
	Shovels O &K 21m ³	1
	E/H	8
	U/R	6
Χωματουργικά	TEREX 90t	10
	TEREX 85t	20
	TEREX 50t	3
Διατρητικά	TAMROCK	6
	VOLVO	2
Ισοπεδωτές	Champion 750 A	2
	KOMATCU GD 823	3
Μηχανήματα Καθαρισμού	Τροχοφόρα	4
	Ερπυστριοφόρα	9
Εκσκαπτικά βοηθητικών εργασιών (τσάπες)	Τροχοφόρα	8
	Ερπυστριοφόρα	7
Οχήματα μεταφοράς προσωπικού	Unimog	25
	DAG	11
	Unimog διπλής καμπίνας	40
Οχήματα επίβλεψης	Unimog μονής καμπίνας	21
	Επιβατικά (L/R - MITS - TERRANO)	35

(Πηγή: ΜΠΕ ορυχείων Πτολεμαΐδας, Ν. Κοζάνης, 2010)

6.2.3 Στοιχεία λειτουργίας πάγιου εξοπλισμού ορυχείου

Τα στοιχεία, που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη και παρατίθενται παρακάτω, αφορούν στοιχεία για το έτος 2009 και παρασχέθηκαν από τη Διεύθυνση Μελετών και Ανάπτυξης Ορυχείων της ΔΕΗ Α.Ε.

Οι εκσκαφές για το 2009 ανήλθαν σε 63.201.000 m³, από τις οποίες προέκυψε μια παραγωγή 19.922.470 t λιγνίτη, ενώ οι συνολικές ώρες λειτουργίας των εκσκαφών ήταν 34.152,5 h. Αντίστοιχα, το σύνολο των αποθέσεων των αγόνων ανήλθε σε 48.580.100 m³ και οι συνολικές ώρες λειτουργίας των αποθετών ήταν 33.521,9 h. Τέλος, για τη σύνδεση των εκσκαφών με τους αποθέτες απαιτήθηκαν 64.922,33 m ταινιόδρομων, το πλάτος των οποίων κυμαίνεται από 1,2 έως 2,4 m. Στους Πίνακες 28, 29 και 30 παρουσιάζονται αναλυτικά τα στοιχεία των εκσκαφών, των αποθετών και του δικτύου ταινιόδρομων αντίστοιχα.

Πίνακας 28. Στοιχεία λειτουργίας εκσκαφών

Εκσκαφείς	Μέση Ωριαία Αποδοτικότητα (Fm ³ /hr)	Εκσκαφές (Fm ³)	Παραγωγή λιγνίτη (t)	Ώρες λειτουργίας
E1A (στείρα)	1.533	5.667.000	0	3.696,1
E1B (στείρα)	1.418	4.881.000	0	3.442,9
E2A (στείρα)	1.431	5.121.000	0	3.578,1
E2B (στείρα)	1.263	4.390.000	0	3.476,5
E3 (στείρα)	2.853	8.031.000	0	2.814,7
E4 (στείρα+λιγνίτης)	1.693	6.065.000	1.428.920	3.582,4
E5 (στείρα+λιγνίτης)	2.098	9.313.000	5.351.550	4.439,5
E6A (στείρα+λιγνίτης)	2.151	10.032.000	6.946.550	4.664,1
E6B (στείρα+λιγνίτης)	2.176	9.701.000	6.195.450	4.458,2
Σύνολο		63.201.000	19.922.470	34.152,5

Πίνακας 29. Στοιχεία λειτουργίας αποθετών

Αποθέτες	Μέση Ωριαία Αποδοτικότητα (Fm ³ /hr)	Σύνολο αποθέσεων (Fm ³)	Ώρες λειτουργίας
A1	1.039	6.730.300	6.476,2
A2	1.083	7.502.700	6.928,8
A3	947	4.988.300	5.268,3
A5	2.061	10.115.600	4.909,1
A6	1.797	9.895.900	5.508,3
A7	2.109	9.347.300	4.431,2
Σύνολο		48.580.100	33.521,9

Πίνακας 30. Στοιχεία λειτουργίας ταινιόδρομων

Ταινιόδρομοι	Ώρες λειτουργίας	Μήκος (m)	Πλάτος (m)
T/Δ 1 (E1A)	3.696,1	2.012,59	1,2-1,8
T/Δ 11 (E1A)	3.696,1	1.338,05	1,2-1,8
T/Δ 1B (E1B)	3.442,9	2.615,79	1,2-1,8
T/Δ 11B (E1B)	3.442,9	1.404,68	1,2-1,8
T/Δ 2A (E2A)	3.578,1	2.615,92	1,2-1,8
T/Δ 12A (E2A)	3.578,1	1.428,21	1,2-1,8
T/Δ 2B (E2B)	3.476,5	2.765,38	1,2-1,8
T/Δ 12B (E2B)	3.476,5	1.465	1,2-1,8
T/Δ 103 (E3)	2.814,7	2.632,01	2,4
T/Δ 113 (E3)	2.814,7	1.441,36	2,4
T/Δ 4 (E4)	3.582,4	2.249,1	1,2-1,8
T/Δ 14 (E4)	3.582,4	1.781,32	1,2-1,8
T/Δ 5 (E5)	4.439,5	2.403,15	1,2-1,8
T/Δ 15 (E5)	4.439,5	1.825,71	1,2-1,8
T/Δ 6A (E6A)	4.664,1	2.318,62	1,2-1,8
T/Δ 16A (E6A)	4.664,1	1.872,04	1,2-1,8
T/Δ 6B (E6B)	4.458,2	2.180,85	1,2-1,8
T/Δ 16β (E6B)	4.458,2	1.947,52	1,2-1,8
T/Δ 51 (A1)	6.476,2	1.740,93	1,2-1,8
T/Δ 41 (A1)	6.476,2	2.137,95	1,2-1,8
T/Δ 52 (A2)	6.928,8	2.123,34	1,2-1,8
T/Δ 42 (A2)	6.928,8	2.009,67	1,2-1,8
T/Δ 53 (A3)	5.268,3	1.665,28	1,2-1,8
T/Δ 43 (A3)	5.268,3	1.968,59	1,2-1,8
T/Δ 151 (A5)	4.909,1	1.312,58	2,4
T/Δ 141 (A5)	4.909,1	1.025,61	2,4
T/Δ 131 (A5)	4.909,1	869,64	2,4
T/Δ 121 (A5)	4.909,1	1.175,49	2,4
T/Δ 153(A6)	5.508,3	1.417,85	2,4
T/Δ 143 (A6)	5.508,3	1.344,47	2,4
T/Δ 133A (A6)	5.508,3	794,82	2,4
T/Δ 133 (A6)	5.508,3	783,22	2,4
T/Δ 123 (A6)	5.508,3	1.131,5	2,4
T/Δ 152 (A7)	4.431,2	1.570,18	2,4
T/Δ 142 (A7)	4.431,2	3.536,95	2,4
T/Δ 132 (A7)	4.431,2	864,76	2,4
T/Δ 122 (A7)	4.431,2	1.152,2	2,4
Σύνολο	170.554,3	64.922,33	

6.3 Περιγραφή περιβάλλουσας περιοχής

6.3.1 Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας

Η Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Ελλάδας και συνορεύει με την Αλβανία και τη FYROM. Αποτελείται από τους Νομούς Κοζάνης, Γρεβενών, Καστοριάς και Φλώρινας και έχει έδρα την Κοζάνη, που αποτελεί την πρωτεύουσα του ομώνυμου Νομού.

Η Δυτική Μακεδονία έχει έκταση 9.451 χλμ² και καταλαμβάνει το 7,2% της συνολικής έκτασης της χώρας. Είναι περιοχή κατ' εξοχήν ορεινή, με το 82% του εδάφους της να καλύπτεται από ορεινές και ημιορεινές εκτάσεις. Η Περιφέρεια έχει σημαντικούς φυσικούς πόρους όπως ενεργειακά ορυκτά, μεταλλεύματα, δάση (50% της συνολικής της έκτασης), βοσκότοπους και το 65% των επιφανειακών υδάτινων πόρων της χώρας.

Σύμφωνα με στοιχεία του 2001 (επίσημα & πλήρη στοιχεία) της ΕΣΥΕ ο πληθυσμός της Δυτικής Μακεδονίας ανέρχεται σε 293.015 κατοίκους και αντιστοιχεί στο 2,9% του συνολικού πληθυσμού της χώρας. Ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού την περίοδο 1993-1998 είναι 1,66% και είναι ελαφρώς μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο πανελλήνιο (ποσοστό 1,56%).

Τα αστικά κέντρα της Περιφέρειας, σύμφωνα με την απογραφή του 2001, είναι η Κοζάνη (35.942 κατ.), η Πτολεμαΐδα (28.942 κατ.), η Καστοριά (16.218 κατ.), η Φλώρινα (14.555 κατ.), ενώ τα Γρεβενά, πρωτεύουσα του ομώνυμου νομού, έχουν πληθυσμό 10.447 κατοίκους.

6.3.2 Νομός Κοζάνης

Με πρωτεύουσα την Κοζάνη, ο Νομός Κοζάνης συγκεντρώνει ποσοστό 1,4% του πληθυσμού της χώρας με τάση αύξησης, αφού είχε το 7ο μεγαλύτερο ποσοστό φυσικής αύξησης του πληθυσμού το 1999 (υπεροχή γεννήσεων/1.000 κατοίκους: 1,2), και υψηλή αναλογία γάμων ανά 1.000 κατοίκους (5,4 με μέσο χώρας 5,1). Μεταξύ των απογραφών 1991 και 2001, ο πληθυσμός του νομού αυξήθηκε 3,3%, αύξηση χαμηλότερη από του συνόλου της χώρας (6,9%). Ο Νομός Κοζάνης, ορεινή περιοχή για τα δεδομένα της Ελλάδος, μέχρι το 1970 συγκαταλεγόταν στους φτωχότερους Νομούς της χώρας. Ο πληθυσμός ασχολείτο κυρίως με τη γεωργία και την κτηνοτροφία, ενώ ήταν και απομονωμένος από τα κεντρικά οδικά δίκτυα της χώρας. Η εκμετάλλευση των λιγνιτοφόρων κοιτασμάτων που υπάρχουν στο υπέδαφος της περιοχής, έμελλε να παίξει καθοριστικό ρόλο στη μετέπειτα αναπτυξιακή πορεία του.

Στο βιοτεχνικό τομέα, κατά τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει κινητικότητα. Βρίσκονται σε εξέλιξη προγράμματα που αναμένεται να ενισχύσουν την περιοχή. Ήδη στο Νομό λειτουργούν αρκετές βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες, ενώ στο στάδιο της ολοκλήρωσης βρίσκεται η Βιομηχανική Περιοχή της Κοζάνης, και το Βιοτεχνικό Πάρκο Ξύλου Κοζάνης, για την προώθηση της επεξεργασίας ξύλου και της επιπλοποιίας. Ήδη, λειτουργεί το Βιοτεχνικό Πάρκο της Σιάτιστας, για την ανάπτυξη και προώθηση της γούνας, ενώ αξιόλογο είναι και το Εκθεσιακό Κέντρο Δυτικής Μακεδονίας, όπου και φιλοξενείται κάθε χρόνο η Εμποροβιοτεχνική και Γεωργική Έκθεση Δυτικής Μακεδονίας.

Όσον αφορά το βιομηχανικό τομέα, σημαντικότερο ρόλο παίζουν τα πλούσια λιγνιτοφόρα κοιτάσματα στο υπέδαφος της περιοχής, όπου εκτεινόταν η αποξηραμένη «Σαρί Γκιόλ» ή «Κίτρινη Λίμνη», καθώς και οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί της περιοχής, οι οποίοι παράγουν πάνω από το μισό της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας, ενώ δεν θα έπρεπε να παραβλεφθεί και η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς του φράγματος του Πολυφύτου, που συγκεντρώνει τα νερά του Αλιάκμονα (Κέντρο Περιβάλλοντος Κοζάνης).

Η ΔΕΗ παρέχει απασχόληση σε ένα μεγάλο αριθμό εργαζομένων από τις πόλεις και τα χωριά του Νομού, γεγονός, που έχει επηρεάσει θετικά τις κοινωνικές δράσεις στην περιοχή. Όμως, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ατμοσφαιρική ρύπανση, τις εκσκαφές τεράστιων εκτάσεων, τη λειτουργία των ατμοηλεκτρικών σταθμών (ΑΗΣ) και η μετεγκατάσταση ολόκληρων χωριών για την εκμετάλλευση των λιγνιτοφόρων κοιτασμάτων μετριάζουν τη θετική κοινωνική επίδραση των ΑΗΣ στην περιοχή.

6.3.3 Φυσικό περιβάλλον

Οικοσυστήματα

Η περιοχή που καταλαμβάνει ο Νομός Κοζάνης βρίσκεται στην καρδιά του ηπειρωτικού χώρου της Ελλάδος. Το έδαφος του Νομού είναι ορεινό - ηπειρωτικό και μπορεί να χαρακτηριστεί ως ο Νομός με τις περισσότερες βουνοκορφές στην Ελλάδα, αν και δεν είναι ο πιο ορεινός Νομός της. Τα βουνά της Κοζάνης είναι η «Μακρά Οροσειρά» που αποτελείται από τα όρη Μουρίκη, Βέλλα, Σινιάτσικο, Βούρινο, το «Βόϊον όρος», το «Βέρμιο», η οροσειρά των «Πιερίων», που περιλαμβάνει και τα όρη «Τίταρος» και «Καμβούνια». Δάση είναι κατανεμημένα και στους ορεινούς όγκους του γειτονικού Νομού Φλώρινας, όπως η περιοχή Βίγλας, Βιτσίου, Νυμφαίου και Ξινού Νερού. Τα είδη

δένδρων που απαντώνται κυρίως είναι η δρυς και η οξιά (Κέντρο Περιβάλλοντος Κοζάνης).

Χλωρίδα – Πανίδα

Η φυτοκάλυψη για την περιοχή περιλαμβάνει τις υπάρχουσες γεωργικές καλλιέργειες και τα δάση της περιοχής. Σπάνια, προστατευόμενα ή ενδημικά είδη συναντώνται στην περιοχή της λίμνης των Πρεσπών, όπου η πανίδα και η χλωρίδα είναι από τις σπανιότερες όλης της χώρας. Η περιοχή αυτή βρίσκεται αρκετά χιλιόμετρα δυτικά από το χώρο του ΑΗΣ, σε διαφορετικό οροπέδιο. Αξιοσημείωτη πανίδα συναντάται και στη λίμνη Βεγορίτιδα, οι απόκρημνες πλαγιές της οποίας αποτελούν ιδανικό καταφύγιο για ασπροπάδηδες, αετογερακίνες καθώς και για το παγκοσμίως, απειλούμενο κερκινέζι (Κέντρο Περιβάλλοντος Κοζάνης). Επίσης στη λίμνη Πετρών παρατηρούνται πληθυσμοί σπάνιων πουλιών όπως χαλκόκοτες, νυκτοκόρακες, λαγγόνες και νεροχελίδονα. Η ευρύτερη περιοχή των λιμνών έχει ενταχθεί στο πρόγραμμα «NATURA 2000». Σημαντικό στοιχείο, το οποίο είναι δυνατό να θεωρηθεί ότι έχει ορίσει την πορεία της περιοχής, είναι ο ποταμός Αλιάκμονας, που διαρρέει από άκρη σε άκρη το νομό Κοζάνης. Ο Αλιάκμονας είναι ο μεγαλύτερος σε μήκος ποταμός της Ελλάδος (297 χλμ.), πηγάζει από τις Ανατολικές βουνοπλαγιές του Βοΐου όρους και εκρέει στο Θερμαϊκό κόλπο, αφού εμπλουτιστεί από πολλούς παραποτάμους και υπόγεια νερά. Στην περιοχή, που βρίσκεται μεταξύ των Σερβίων και της Κοζάνης, σχηματίζει την τεχνητή λίμνη του Πολυφύτου, που αποτέλεσε μέρος της υδατογραφίας της περιοχής, μετά την κατασκευή του υδροηλεκτρικού φράγματος, στο πέρασμα μεταξύ του όρους Βερμίου και των Πιερίων. Παρά τα προβλήματα μόλυνσης που αντιμετωπίζει, τα νερά του θεωρούνται καθαρά και φιλοξενούν αρκετά είδη ψαριών, ενώ το φαράγγι, το οποίο σχηματίζεται μεταξύ Βερμίου και Πιερίων, αποτελεί περιοχή, όπου διαχειμάζουν πολλά μεταναστευτικά πουλιά και συνιστά ένα σημαντικό βιότοπο (Κέντρο Περιβάλλοντος Κοζάνης).

Έδαφος - Υπέδαφος

Το υπέδαφος αποτελείται από στρώματα χαλίκων, άμμου και αργίλου, τα οποία εναλλάσσονται χωρίς την ύπαρξη διακριτών ορίων του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα. Παρουσιάζεται μεγάλη διασπορά των τιμών της περιεκτικότητας σε νερό και του ξηρού φαινομένου βάρους μεταξύ διαφορετικών δειγμάτων του εδάφους.

Η περιοχή θεωρείται ως μία από τις ελάχιστες σεισμογενείς της Ελλάδος. Στο παρελθόν έχουν σημειωθεί κάποιοι σεισμοί, με επίκεντρο τη λίμνη Ωχρίδα στην

Π.Γ.Δ.Μ., οι οποίοι προκάλεσαν μηδαμινές υλικές ζημιές (ΔΕΗ Α.Ε.). Σύμφωνα με τον Ελληνικό Σεισμολογικό Κανονισμό, η περιοχή εντάσσεται στην αντισεισμική ζώνη Ι, στις περιοχές δηλαδή που παρουσιάζουν τις μικρότερες πιθανότητες να πληγούν από κάποιο καταστροφικό σεισμό.

6.3.4 Μετεωρολογικά και υδρογραφικά-υδρολογικά στοιχεία

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως Ηπειρωτικό, με ιδιαίτερα ψυχρή χειμερινή περίοδο, που συνήθως αρχίζει το Νοέμβριο και τελειώνει το Μάρτιο. Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες σημειώνονται τον Ιούλιο-Αύγουστο (συχνά και πάνω των 40°C) και οι μικρότερες το Δεκέμβριο - Ιανουάριο (ακόμα και κάτω από 0°C). Οι μεγαλύτερες βροχοπτώσεις σημειώνονται συνήθως το Νοέμβριο (68,6mm), ενώ οι μικρότερες τον Σεπτέμβριο (38,7mm). Χιονοπτώσεις υπάρχουν συνήθως από τα μέσα Δεκεμβρίου μέχρι τα μέσα Μαρτίου, αν και μπορεί να παρατηρηθούν και το Νοέμβριο ή τον Απρίλιο. Η υγρασία κυμαίνεται από 78% τον Ιανουάριο και 50% τους καλοκαιρινούς μήνες με μέση ετήσια τιμή 65%. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 588mm με μέγιστο ύψος σε μια ημέρα τα 100mm.

Τα κλιματολογικά στοιχεία όπως καταγράφηκαν από το Μ.Σ. Κοζάνης για την περίοδο 1955-1997 συνοψίζονται στον Πίνακα 31.

Πίνακας 31. Κλιματολογικά στοιχεία περιοχής (1955-1997)

ΜΗΝΕΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)			ΜΕΣΗ ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΜΕΣΗ ΝΕΦΩΣΗ (ΟΓΔΟΑ)	ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΣΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ	ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΥ (m/sec)
	ΜΕΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ				
Ιανουάριος	2.3	19.8	-16.8	74.2	4.7	B	2.37
Φεβρουάριος	3.7	22.1	-14.0	70.1	4.7	B	2.26
Μάρτιος	6.9	26	-11.0	67.5	4.7	B	2.01
Απρίλιος	11.6	30.2	-5.0	63	4.5	B	1.95
Μάιος	16.8	34	0.2	62	4.2	B	1.80
Ιούνιος	21.5	39.4	3.4	54.8	3.3	B	2.06
Ιούλιος	24.1	42.2	5.0	49.8	2.5	B	2.21
Αύγουστος	23.6	39	7.0	50.4	2.3	B	1.95
Σεπτέμβριος	19.3	34.8	1.0	57	2.8	B	1.75
Οκτώβριος	13.5	32	-6.0	66.7	3.8	B	1.70
Νοέμβριος	8.0	29	-8.0	74.7	4.5	B	1.59
Δεκέμβριος	3.9	29	-13.0	75.7	4.7	B	2.06

(Πηγή: ΜΠΕ ορυχείων Πτολεμαΐδας, Ν. Κοζάνης, 2010)

6.4 Μοντέλο διασποράς σκόνης

6.4.1 Δεδομένα εισόδου

Όπως έχει αναφερθεί, το χρησιμοποιούμενο λογισμικό για τη συγκεκριμένη εργασία είναι το ADMS 4. Στόχος του λογισμικού είναι η εύρεση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην ευρύτερη περιοχή πέριξ του ορυχείου μέσω κατάλληλου μοντέλου διασποράς. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα στοιχεία που εισήχθησαν στο λογισμικό, βάσει των απαιτούμενων σταδίων που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Setup screen

Για την ονομασία του χώρου (name of site) και του σχεδίου (name of project) επιλέχθηκαν τα ονόματα «Ορυχείο Νοτίου Πεδίου» και «Μοντελοποίηση σκόνης για ένα χρόνο». Όσον αφορά τους τρόπους μοντελοποίησης, δεν επιλέχτηκε αρχικά κάποια από τις επιλογές “dry deposition”, “wet deposition” ή “complex terrain”, ώστε να μελετηθεί η χειρίστη των περιπτώσεων, δηλαδή όλη η σκόνη να παραμένει στον αέρα.

Source screen

Για τη συγκεκριμένη έκδοση του λογισμικού υπάρχει η μέγιστη δυνατότητα εισαγωγής 30 πηγών ρύπανσης. Για τη μοντελοποίηση της σκόνης στο Ορυχείο Νοτίου Πεδίου υπάρχουν συνολικά 52 πηγές. Για το λόγο αυτό έγινε ένας διαχωρισμός ανάμεσα στις εργασίες εκσκαφής και απόθεσης. Αυτό οδήγησε στην ύπαρξη δυο μοντέλων. Το πρώτο μοντέλο περιλαμβάνει τους εκσκαφείς με τους ταινιόδρομους που είναι άμεσα συνδεδεμένοι με αυτούς και το δεύτερο τους αποθέτες με τους αντίστοιχους ταινιόδρομους.

Στους παρακάτω Πίνακες 32 και 33 παρουσιάζονται τα στοιχεία που εισήχθησαν στη συγκεκριμένη καρτέλα για κάθε ένα από τα δυο μοντέλα.

Πίνακας 32. Στοιχεία μοντέλου εκσκαφής

Name	Cp (J^oC/kg)	Mol. Mass (g)	Height (m)	Diameter (m)	Velocity (m/s)
E1A	1.012	28,966	2	2	0,03
E1B	1.012	28,966	2	2	0,03
E2A	1.012	28,966	2	2	0,03
E2B	1.012	28,966	2	2	0,03
E3	1.012	28,966	2	2	0,03
E4	1.012	28,966	2	2	0,03
E5	1.012	28,966	2	2	0,03
E6A	1.012	28,966	2	2	0,03
E6B	1.012	28,966	2	2	0,03
T/Δ 1	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 11	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 1B	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 11B	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 2A	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 12A	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 2B	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 12B	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 103	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 113	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 4	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 14	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 5	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 15	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 6A	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 16A	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 6B	1.012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 16β	1.012	28,966	2	-	0,01

Πίνακας 33. Στοιχεία μοντέλου απόθεσης

Name	Cp (J^oC/kg)	Mol, Mass (g)	Height (m)	Diameter (m)	Velocity (m/s)
A1	1012	28,966	2	2	0,01
A2	1012	28,966	2	2	0,01
A3	1012	28,966	2	2	0,01
A5	1012	28,966	2	2	0,01
A6	1012	28,966	2	2	0,01
A7	1012	28,966	2	2	0,01
T/Δ 51	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 41	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 52	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 42	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 53	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 43	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 151	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 141	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 131	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 121	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 153	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 143	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 133A	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 133	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 123	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 152	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 142	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 132	1012	28,966	2	-	0,01
T/Δ 122	1012	28,966	2	-	0,01

Η θερμοχωρητικότητα (Cp) και η μοριακή μάζα (Mol. mass) είναι παράμετροι που αφορούν τις ιδιότητες της μαζικής εκπομπής και όχι του ρύπου, ο οποίος συνήθως αποτελεί ένα μικρό ποσοστό της μαζικής εκπομπής. Για αυτόν το λόγο, στη συγκεκριμένη περίπτωση, για τις παραμέτρους αυτές διατηρούνται οι προεπιλεγμένες τιμές που αντιπροσωπεύουν τον αέρα. Για την παράμετρο της ταχύτητας (Velocity) ακολουθήθηκαν οι οδηγίες από το γραφείο υποστήριξης ερευνών του ADMS.

Όσον αφορά στις υπόλοιπες επιλογές της καρτέλας, οι οποίες δεν παρουσιάζονται στους παραπάνω πίνακες, για κάθε παράμετρο έχουν επιλεγεί τα παρακάτω:

- Η εκπομπή πραγματοποιείται σε θερμοκρασία και πυκνότητα περιβάλλοντος και οι παράμετροι της εκπομπής δίνονται σε πραγματικές θερμοκρασίες. Για αυτούς τους λόγους, επιλέχθηκαν οι επιλογές Ambient και Actual αντίστοιχα.

- Έχουν μοντελοποιηθεί δυο τύποι πηγών, οι σημειακές (P) και οι γραμμικές (L). Στις σημειακές πηγές συμπεριλαμβάνονται οι εκσκαφείς και οι αποθέτες, ενώ στις γραμμικές οι ταινιόδρομοι. Για την παράμετρο εκροή (Efflux) επιλέγεται η ταχύτητα εξόδου (Exit V.) σύμφωνα με τις οδηγίες του γραφείου υποστήριξης ερευνών. Οι συντεταγμένες των πηγών αντλήθηκαν από ένα αρχείο AutoCAD με τον χάρτη της περιοχής που παρασχέθηκε από τη Διεύθυνση Μελετών και Ανάπτυξης Ορυχείων της ΔΕΗ Α.Ε. Τέλος, για το πλάτος των γραμμικών πηγών επιλέγεται η μέση τιμή 1,5m για τους ταινιόδρομους πλάτους από 1,2 έως 1,8m και 2,4m για τους υπόλοιπους.

Για την ολοκλήρωση της εισαγωγής στοιχείων στη συγκεκριμένη καρτέλα απαιτείται ο ρυθμός εκπομπής σκόνης της κάθε πηγής ρύπανσης. Οι ζητούμενες μονάδες για τις σημειακές πηγές είναι g/s, ενώ για τις γραμμικές g/m/s. Για την εύρεση του ρυθμού εκπομπής χρησιμοποιείται η προαναφερθείσα σε προηγούμενο κεφάλαιο εξίσωση:

$$Ek_{py,i} = [A * OpHrs] * Efi$$

Για τις σημειακές πηγές (εκσκαφείς, αποθέτες) χρησιμοποιείται η παραπάνω εξίσωση χωρίς καμία διαφοροποίηση, ενώ για τις γραμμικές (ταινιόδρομοι) χρησιμοποιείται η ίδια εξίσωση διαιρούμενη με το μήκος της κάθε πηγής σε μέτρα. Πριν την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό απαιτείται η μετατροπή των μονάδων από kg/yr για τις σημειακές και kg/m/yr για τις γραμμικές στις ζητούμενες. Οι ώρες λειτουργίας (OpHrs) και η μέση ωριαία αποδοτικότητα (A) αποτελούν στοιχεία που ελήφθησαν από τη ΔΕΗ Α.Ε., ενώ οι συντελεστές εκπομπής (Efi) είναι αποτέλεσμα της μελέτης που έγινε σε προηγούμενο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του ρυθμού εκπομπής καθώς και ο ρυθμός εκπομπής στις ζητούμενες μονάδες παρουσιάζονται συνοπτικά στους Πίνακες 34 και 35.

Πίνακας 34. Ρυθμός εκπομπής κάθε πηγής για το μοντέλο εκσκαφής

Πηγή	A (t/h)	Ώρες λειτουργίας (h)	Συντελεστής εκπομπής (kg/t)	Μήκος (m)	Ρυθμός εκπομπής	Μονάδες
E1A	2.759,4	3.696,1	0,012	-	3,880905	g/s
E1B	2.552,4	3.442,9	0,012	-	3,343857671	g/s
E2A	2.575,8	3.578,1	0,012	-	3,507028151	g/s
E2B	2.273,4	3.476,5	0,012	-	3,007410616	g/s
E3	5.135,4	2.814,7	0,012	-	5,50023226	g/s
E4	2.862,6	3.582,4	0,013	-	4,227333206	g/s
E5	3.217,3	4.439,5	0,013	-	5,887978501	g/s
E6A	3.181,4	4.664,1	0,013	-	6,116822362	g/s
E6B	3.272,8	4.458,2	0,013	-	6,014664193	g/s
T/Δ 1	2.759,4	3.696,1	0,065	2.012,59	0,006274	g/m/s
T/Δ 11	2.759,4	3.696,1	0,065	1.338,05	0,006274	g/m/s
T/Δ 1B	2.552,4	3.442,9	0,065	2.615,79	0,004505	g/m/s
T/Δ 11B	2.552,4	3.442,9	0,065	1.404,68	0,004505	g/m/s
T/Δ 2A	2.575,8	3.578,1	0,065	2.615,92	0,004697	g/m/s
T/Δ 12A	2.575,8	3.578,1	0,065	1.428,21	0,004697	g/m/s
T/Δ 2B	2.273,4	3.476,5	0,065	2.765,38	0,003851	g/m/s
T/Δ 12B	2.273,4	3.476,5	0,065	1.465	0,003851	g/m/s
T/Δ 103	5.135,4	2.814,7	0,085	2.632,01	0,009565	g/m/s
T/Δ 113	5.135,4	2.814,7	0,085	1.441,36	0,009565	g/m/s
T/Δ 4	2.862,6	3.582,4	0,065	2.249,1	0,005244	g/m/s
T/Δ 14	2.862,6	3.582,4	0,065	1.781,32	0,005244	g/m/s
T/Δ 5	3.217,3	4.439,5	0,065	2.403,15	0,006962	g/m/s
T/Δ 15	3.217,3	4.439,5	0,065	1.825,71	0,006962	g/m/s
T/Δ 6A	3.181,4	4.664,1	0,065	2.318,62	0,007298	g/m/s
T/Δ 16A	3.181,4	4.664,1	0,065	1.872,04	0,007298	g/m/s
T/Δ 6B	3.272,8	4.458,2	0,065	2.180,85	0,007285	g/m/s
T/Δ 16β	3.272,8	4.458,2	0,065	1.947,52	0,007285	g/m/s

Πίνακας 35. Ρυθμός εκπομπής κάθε πηγής για το μοντέλο απόθεσης

Πηγή	A (t/h)	Ώρες λειτουργίας (h)	Συντελεστής εκπομπής (kg/t)	Μήκος (m)	Ρυθμός εκπομπής	Μονάδες
A1	1.870,6	6.476,2	0,0043	-	1,651843	g/s
A2	1.949,1	6.928,8	0,0043	-	1,841416	g/s
A3	1.704,3	5.268,3	0,0043	-	1,224297	g/s
A5	3.709	4.909,1	0,0043	-	2,48271	g/s
A6	3.233,8	5.508,3	0,0043	-	2,428788	g/s
A7	3.797	4.431,2	0,0043	-	2,294143	g/s
T/Δ 51	1.870,6	6.476,2	0,065	1.740,93	0,006437	g/m/s
T/Δ 41	1.870,6	6.476,2	0,065	2.137,95	0,006437	g/m/s
T/Δ 52	1.949,1	6.928,8	0,065	2.123,34	0,006735	g/m/s
T/Δ 42	1.949,1	6.928,8	0,065	2.009,67	0,006735	g/m/s
T/Δ 53	1.704,3	5.268,3	0,065	1.665,28	0,005093	g/m/s
T/Δ 43	1.704,3	5.268,3	0,065	1.968,59	0,005093	g/m/s
T/Δ 151	3.709	4.909,1	0,085	1.312,58	0,011196	g/m/s
T/Δ 141	3.709	4.909,1	0,085	1.025,61	0,011196	g/m/s
T/Δ 131	3.709	4.909,1	0,085	869,64	0,011196	g/m/s
T/Δ 121	3.709	4.909,1	0,085	1.175,49	0,011196	g/m/s
T/Δ 153	3.233,8	5.508,3	0,085	1.417,85	0,008774	g/m/s
T/Δ 143	3.233,8	5.508,3	0,085	1.344,47	0,008774	g/m/s
T/Δ 133A	3.233,8	5.508,3	0,085	794,82	0,008774	g/m/s
T/Δ 133	3.233,8	5.508,3	0,085	783,22	0,008774	g/m/s
T/Δ 123	3.233,8	5.508,3	0,085	1.131,5	0,008774	g/m/s
T/Δ 152	3.797	4.431,2	0,085	1.570,18	0,006366	g/m/s
T/Δ 142	3.797	4.431,2	0,085	3.536,95	0,006366	g/m/s
T/Δ 132	3.797	4.431,2	0,085	864,76	0,006366	g/m/s
T/Δ 122	3.797	4.431,2	0,085	1.152,2	0,006366	g/m/s

Meteorology screen

Όπως έχει προαναφερθεί η καρτέλα αυτή αποτελείται από δυο κύρια τμήματα. Στο πρώτο κύριο τμήμα (Site data) αρχικά εισάγεται το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, το οποίο είναι 40°. Για την τραχύτητα του εδάφους επιλέχτηκε η επιλογή της υπαίθριας περιοχής, η οποία αντιστοιχεί σε μια τιμή 0,3m.

Στο δεύτερο κύριο τμήμα (Met. data), στην περίπτωση που εξετάζεται, εισάγονται μετεωρολογικά δεδομένα μέσω ενός ξεχωριστού αρχείου. Δεδομένου της δυσκολίας της συλλογής επαρκών μετεωρολογικών στοιχείων, επιλέχτηκαν στοιχεία για το έτος 1995, τα οποία ήταν τα μοναδικά που πληρούσαν όλες τις προδιαγραφές για τη σωστή λειτουργία του λογισμικού. Συνολικά έχουν εισαχθεί 8.760 σειρές μετεωρολογικών στοιχείων, οι οποίες αφορούν ωριαίες μετρήσεις για όλο το έτος ξεκινώντας από την 1^η πρωινή της

1/1/1995 μέχρι και τη 12η μεσημβρινή της 31/12/1995. Κάθε μια σειρά περιλαμβάνει τα εξής δεδομένα:

- Έτος
- Αριθμός Ιουλιανής ημέρας (1 – 365)
- Ώρα μέτρησης (1 – 24)
- Διεύθυνση ανέμου (°)
- Ταχύτητα ανέμου (m/s)
- Θερμοκρασία εδάφους (°C)
- Νεφοκάλυψη (oktas)

Για το ύψος όπου λαμβάνονται οι μετρήσεις του ανέμου, διατηρείται η προεπιλεγμένη τιμή των 10m. Τέλος, επιλέγεται το πεδίο όπου αναφέρεται ότι οι ωριαίες μετρήσεις είναι διαδοχικές (Met. data are hourly sequential).

Background screen

Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι η εύρεση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων από την εξορυκτική δραστηριότητα του ορυχείου νοτίου πεδίου, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η προϋπάρχουσα αέρια ρύπανση. Επομένως, στην καρτέλα αυτή δεν εισάγονται στοιχεία.

Grids screen

Έχοντας ως στόχο την εύρεση των συγκεντρώσεων των εκπομπών σε μία ευρύτερη περιοχή του ορυχείου, χρησιμοποιείται ένας κάναβος 100 x 100km. Τα σημεία που υπολογίζονται μέσω του λογισμικού οι συγκεντρώσεις είναι διατεταγμένα ανά χιλιόμετρο. Ο κάναβος επεκτείνεται σε μια έκταση 10.000km², έχοντας συνολικά 10.000 σημεία μετρήσεων. Το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται είναι το σύστημα ΕΓΣΑ.

Output screen

Αυτή είναι η τελευταία καρτέλα και αρχικά επιλέγεται το όνομα του ρύπου που αφορά στη μελέτη, δηλαδή τα αιωρούμενα σωματίδια PM-10. Ο υπολογισμός του μέσου όρου των συγκεντρώσεων αφορά μεγάλη χρονική περίοδο (Long term), στη συγκεκριμένη περίπτωση ένα έτος, ενώ ο χρόνος που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της μέσης συγκέντρωσης του ρύπου είναι 24 ώρες.

6.4.2 Εκτίμηση των ποσοτήτων της εκλυόμενης σκόνης

Η εκτίμηση των ποσοτήτων της εκλυόμενης σκόνης πραγματοποιήθηκε βάσει των συντελεστών εκπομπών και των στοιχείων για τη λειτουργία του ορυχείου. Συνδυάζοντας, έτσι, τη μέση ωριαία παραγωγικότητα, τις ώρες λειτουργίας και το συντελεστή εκπομπής που επιλέχτηκε για την κάθε πηγή, υπολογίστηκαν οι Πίνακες 36 έως 38, στους οποίους παρουσιάζονται αναλυτικά οι συνολικές εκπομπές από κάθε πηγή ρύπανσης, καθώς και το σύνολο της εκλυόμενης σκόνης από την εκσκαφή, την απόθεση και τη μεταφορά (Πίν. 39).

Πίνακας 36. Εκλυόμενη σκόνη εκσκαφών

Εκσκαφείς	Ετήσια εκπομπή (kg/yr)
E1A	122.388
E1B	105.452
E2A	110.598
E2B	94.842
E3	173.455
E4	133.313
E5	185.683
E6A	192.900
E6B	189.678

Πίνακας 37. Εκλυόμενη σκόνη αποθετών

Αποθέτες	Ετήσια εκπομπή (kg/yr)
A1	52.093
A2	58.071
A3	38.609
A5	78.295
A6	76.594
A7	72.348

Πίνακας 38. Εκλυόμενη σκόνη ταινιόδρομων

Ταινιόδρομοι	Ετήσια εκπομπή (kg/yr)
T/Δ 1	398.198
T/Δ 11	264.738
T/Δ 1B	371.632
T/Δ 11B	199.566
T/Δ 2A	387.505
T/Δ 12A	211.566
T/Δ 2B	335.820
T/Δ 12B	177.906
T/Δ 103	793.888
T/Δ 113	434.754
T/Δ 4	371.969
T/Δ 14	294.605
T/Δ 5	527.590
T/Δ 15	400.818
T/Δ 6A	533.638
T/Δ 16A	430.856
T/Δ 6B	501.002
T/Δ 16β	447.400
T/Δ 51	353.419
T/Δ 41	434.016
T/Δ 52	450.981
T/Δ 42	426.839
T/Δ 53	267.453
T/Δ 43	316.166
T/Δ 151	463.447
T/Δ 141	362.123
T/Δ 131	307.053
T/Δ 121	415.043
T/Δ 153	392.324
T/Δ 143	372.020
T/Δ 133A	219.929
T/Δ 133	216.720
T/Δ 123	313.090
T/Δ 152	315.211
T/Δ 142	710.036
T/Δ 132	173.599
T/Δ 122	231.302

Πίνακας 39. Σύνολο εκλυόμενης σκόνης ανά δραστηριότητα

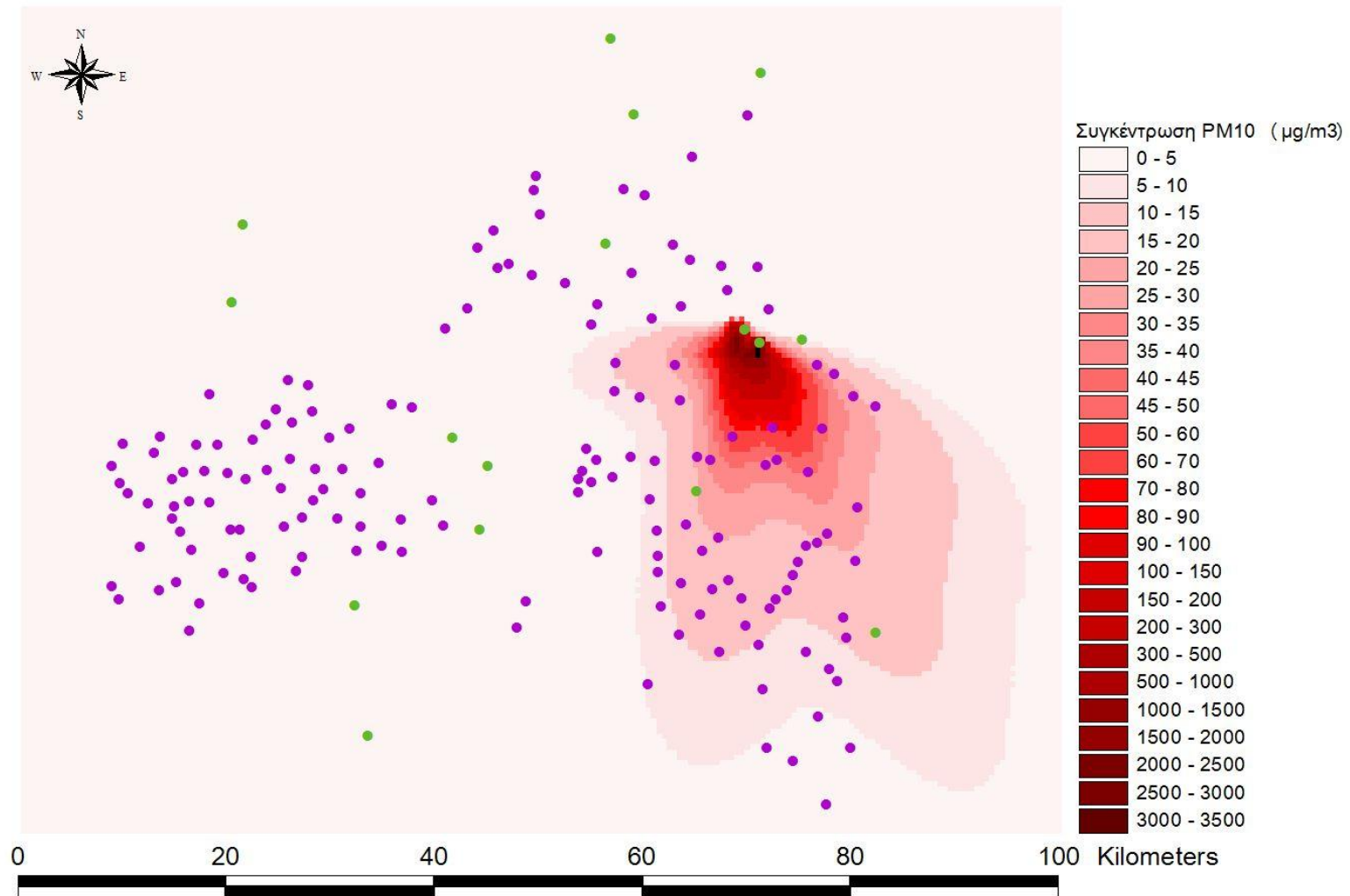
Δραστηριότητα	Ετήσια εκπομπή (kg/yr)
Εκσκαφείς	1.308.309
Αποθέτες	376.009
Ταινόδρομοι	13.824.222
Σύνολο	15.508.542

Όπως παρατηρείται στους παραπάνω πίνακες, το σύνολο των ετήσιων εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων από τις εργασίες που εκτελούνται από τον πάγιο εξοπλισμό του ορυχείου ανέρχεται σε περίπου 15.509 t. Το μεγαλύτερο ποσοστό της εκπομπής οφείλεται στη διαδικασία της μεταφοράς των εκσκαφών εξαιτίας του μεγάλου μήκους του δικτύου ταινιόδρομων και το πως αυτό επεκτείνεται σε όλη την έκταση του ορυχείου.

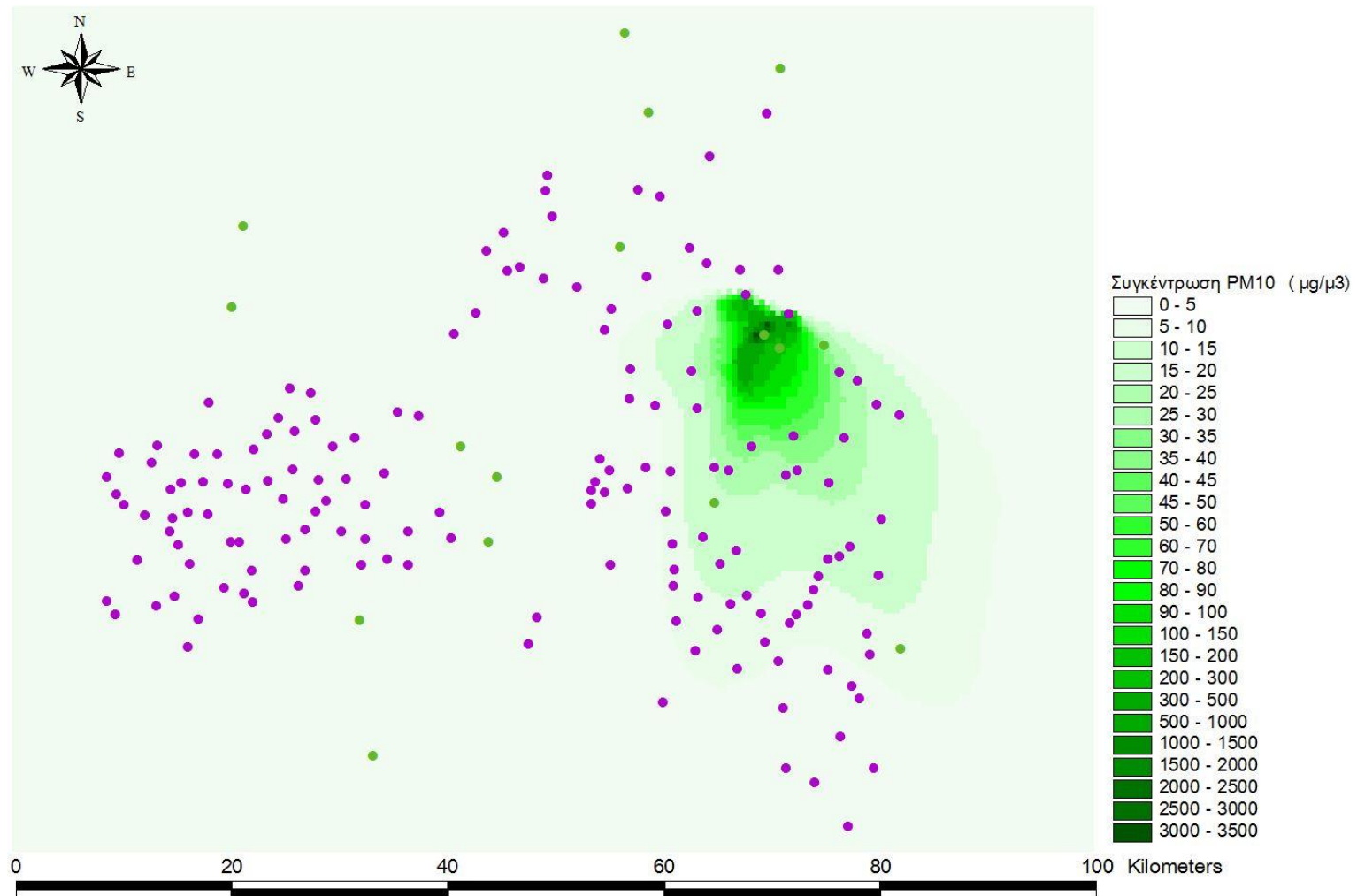
6.4.3 Διασπορά της σκόνης

Έχοντας εκτιμήσει την ποσότητα σκόνης που εκπέμπεται από κάθε μεμονωμένη πηγή και συνολικά, ακολούθως εκτιμάται η διασπορά των σωματιδίων στην περιβάλλουσα περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, στόχος είναι η εύρεση της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης στους οικισμούς της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας που βρίσκονται εντός της περιοχής μελέτης. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός απαιτείται συνδυασμός των λογισμικών ADMS 4 και ArcView. Πιο αναλυτικά, οι τιμές των συγκεντρώσεων από τα 10.000 σημεία του καννάβου που χρησιμοποιήθηκε στο ADMS 4 εισάγονται στο λογισμικό ArcView, με τη βοήθεια του οποίου διαμορφώνονται χάρτες διασποράς. Ακολούθως, από τις ακριβείς θέσεις οικισμών της Περιφέρειας της Δυτικής Μακεδονίας εκτιμώνται οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις για κάθε οικισμό, χρησιμοποιώντας κατάλληλα πρόσθετα του λογισμικού ArcView.

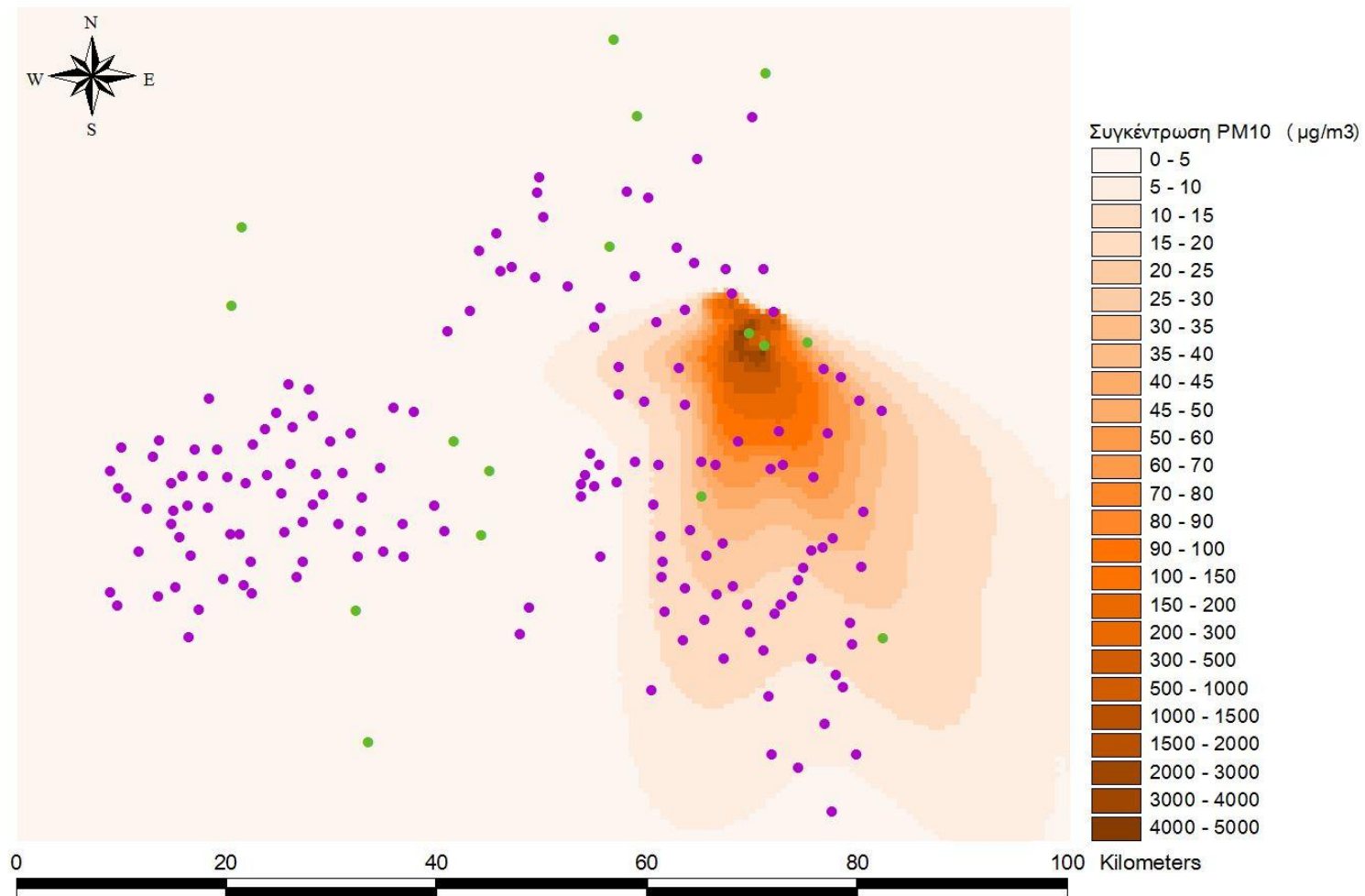
Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, προκύπτουν οι ακόλουθοι χάρτες διασποράς σωματιδίων PM-10 για τα δυο μοντέλα, εκσκαφής και απόθεσης, καθώς και για τη συνδυαστική τους επίδραση (Εικ. 12 έως 14). Στη συνολική έκταση των 10.000 km², η οποία είναι η περιοχή της μελέτης, υπάρχουν συνολικά 173 οικισμοί και πόλεις που παρουσιάζονται στους χάρτες ως κουκκίδες. Τα επίπεδα της συγκέντρωσης της σκόνης διακρίνονται ως διαδοχικές αποχρώσεις του ίδιου χρώματος ανάλογα με την αυξομείωση της συγκέντρωσης, όπως εξηγείται στο υπόμνημα της κάθε εικόνας.



Εικόνα 12. Γραφική απεικόνιση διασποράς μοντέλου εκσκαφής



Εικόνα 13. Γραφική απεικόνιση διασποράς μοντέλου απόθεσης



Εικόνα 14. Γραφική απεικόνιση συνολικής διασποράς

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι πέντε μεγάλες πόλεις που περιλαμβάνονται στην περιοχή της μελέτης παρουσιάζουν συγκεντρώσεις μικρότερες του ανώτατου επιτρεπόμενου ορίου των $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ σύμφωνα με την υπάρχουσα ευρωπαϊκή νομοθεσία για τις τιμές της συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM-10 σε ετήσια βάση. Συγκεκριμένα, στην Κοζάνη παρατηρείται συγκέντρωση της τάξεως των $36,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ στις Πτολεμαΐδα, Φλώρινα, Καστοριά και Γρεβενά οι τιμές των συγκεντρώσεων είναι πολύ μικρές και κυμαίνονται από 0 έως $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Αναλυτικά, οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων κάθε πόλης ή οικισμού από την εκσκαφή, την απόθεση και συνολικά καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.

6.5 Αποτίμηση των επιπτώσεων από τις εκπομπές PM-10

Το συνολικό εξωτερικό κόστος από τις εκπομπές των σωματιδίων PM-10 σε κάθε οικισμό της περιοχής ενδιαφέροντος υπολογίζεται με τη βοήθεια των ακόλουθων παραμέτρων:

- Μέση ετήσια συγκέντρωση σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ κάθε οικισμού.
- Πληθυσμός οικισμού.
- Ποσοστό επηρεαζόμενου πληθυσμού.
- Τιμές εξισώσεων δόσης-απόκρισης (ERF).
- Μοναδιαίο κόστος κάθε επίπτωσης.

Πηγή ενημέρωσης για τον πληθυσμό του κάθε οικισμού και του ποσοστού επηρεαζόμενου πληθυσμού αποτελεί η εθνική απογραφή του 2001, καθώς τα οριστικά στοιχεία της τελευταίας απογραφής του 2011 δεν έχουν δημοσιευθεί.

Με τον όρο ποσοστό επηρεαζόμενου πληθυσμού εννοείται το ποσοστό του πληθυσμού που επηρεάζεται από την κάθε επίπτωση ανάλογα με την ηλικία, τις προϋπάρχουσες ασθένειες και την πιθανότητα εμφάνισης ασθένειας.

Οι επιπτώσεις των σωματιδίων PM-10, οι τιμές ERF και το μοναδιαίο κόστος για κάθε επίπτωση αναλύονται στον Πίνακα 40. Οι τιμές αυτές προέρχονται από τη μελέτη του προγράμματος NEEDS (New Energy Externalities Developments for Sustainability, 2008), το οποίο βασίζεται στη μεθοδολογία προσέγγισης που έχει αναπτύξει το ExternE.

Πίνακας 40. Επισκόπηση των εξισώσεων δόσης-απόκρισης για PM-10 και τα αντίστοιχα μοναδιαία κόστη

Επίπτωση	Ομάδα ηλικίας	Συντελεστής ομάδας ηλικίας	Ομάδα επικινδυνότητας	Συντελεστής ομάδας επικινδυνότητας	ERF	Μονάδες	Μοναδιαίο κόστος (€)
Αυξημένο ρίσκο θνησιμότητας	βρέφη	0,009	σύνολο βρεφών	0,002	0,004	επεισόδια/[infants.year.μg/m ³]	3.000.000
Νέα επεισόδια χρόνιας βρογχίτιδας	ενήλικοι > 27	0,7	σύνολο ενηλίκων > 27	1	2,7E-05	επεισόδια/[adult.year.μg/m ³]	200.000
Εισαγωγή στο νοσοκομείο λόγω αναπνευστικού	σύνολο πληθυσμού	1	σύνολο πληθυσμού	1	7E-06	επεισόδια/[person.year.μg/m ³]	2.000
Εισαγωγή στο νοσοκομείο λόγω καρδιακού	σύνολο πληθυσμού	1	σύνολο πληθυσμού	1	4,3E-06	επεισόδια/[person.year.μg/m ³]	2.000
Χρήση φαρμάκων / βρογχοδιασταλτικών	παιδιά 5-14	0,112	σύνολο παιδιών 5 -14	0,2	0,018	επεισόδια/[child.year.μg/m ³]	1
Χρήση φαρμάκων / βρογχοδιασταλτικών	ενήλικοι > 20	0,798	ασθματικοί	0,045	0,0912	επεισόδια/[asth-adult.year.μg/m ³]	1
Ασθενή συμπτώματα αναπνευστικού	ενήλικοι > 20	0,83	συμπτωματικοί	0,3	0,13	επεισόδια/[adults.year.μg/m ³]	38
Ασθενή συμπτώματα αναπνευστικού	παιδιά 5-14	0,112	σύνολο παιδιών 5 -14	1	0,186	επεισόδια/[child.year.μg/m ³]	38
Ιατρική γνωμάτευση εμφάνισης άσθματος	παιδιά 0-14	0,17	σύνολο παιδιών 0 -14	1	0,00012	επεισόδια/[child.year.μg/m ³]	53
Ιατρική γνωμάτευση εμφάνισης άσθματος	ενήλικοι 15-64	0,672	σύνολο ενηλίκων 15 - 64	1	5,1E-05	επεισόδια/[adult.year.μg/m ³]	53
Ιατρική γνωμάτευση εμφάνισης άσθματος	ηλικιωμένοι > 64	0,158	σύνολο ηλικιωμένων > 64	1	9,5E-05	επεισόδια/[elder.year.μg/m ³]	53
Ιατρική γνωμάτευση παθήσεων του άνω αναπνευστικού	παιδιά 0-14	0,17	σύνολο παιδιών 0 -14	1	0,0004	επεισόδια/[child.year.μg/m ³]	75
Ιατρική γνωμάτευση παθήσεων του άνω αναπνευστικού	ενήλικοι 15-64	0,672	σύνολο ενηλίκων 15 - 64	1	0,00032	επεισόδια/[adult.year.μg/m ³]	75
Ιατρική γνωμάτευση παθήσεων του άνω αναπνευστικού	ηλικιωμένοι > 64	0,158	σύνολο ηλικιωμένων > 64	1	0,00047	επεισόδια/[elder.year.μg/m ³]	75
Οξεία συμπτώματα του αναπνευστικού συστήματος	σύνολο πληθυσμού	1	σύνολο πληθυσμού	1	0,435	επεισόδια/[person.year.μg/m ³]	38

(Πηγή: NEEDS, 2008)

Το εξωτερικό κόστος κάθε επίπτωσης προκύπτει από το άθροισμα των γινομένων της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης και του πληθυσμού κάθε οικισμού, του αντίστοιχου ποσοστού ενδιαφέροντος και της αντίστοιχης τιμής ERF, πολλαπλασιαζόμενο με το μοναδιαίο κόστος κάθε επίπτωσης. Για το ποσοστό ενδιαφέροντος του πληθυσμού για την κάθε περίπτωση χρησιμοποιούνται όπου είναι δυνατόν στοιχεία από την απογραφή του 2001. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται οι αντίστοιχοι συντελεστές που εμφανίζονται στον πίνακα.

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω στοιχεία και κάνοντας τους υπολογισμούς που αναφέρθηκαν, εκτιμήθηκε το εξωτερικό κόστος σε ευρώ ξεχωριστά για την κάθε επίπτωση καθώς και συνολικά και παρουσιάζεται στον Πίνακα 41.

Πίνακας 41. Εξωτερικό κόστος για την ανθρώπινη υγεία

Επίπτωση	Ομάδα ηλικίας	Εξωτερικό κόστος (€)
Αυξημένο ρίσκο θνησιμότητας	βρέφη	553.597
Νέα επεισόδια χρόνιας βρογχίτιδας	ενήλικοι > 27	9.587.361
Εισαγωγή στο νοσοκομείο λόγω αναπνευστικού	σύνολο πληθυσμού	36.329
Εισαγωγή στο νοσοκομείο λόγω καρδιακού	σύνολο πληθυσμού	22.428
Χρήση φαρμάκων / βρογχοδιασταλτικών	παιδιά 5-14	1.026
Χρήση φαρμάκων / βρογχοδιασταλτικών	ενήλικοι > 20	10.854
Ασθενή συμπτώματα αναπνευστικού	ενήλικοι > 20	3.210.425
Ασθενή συμπτώματα αναπνευστικού	παιδιά 5-14	1.278
Ιατρική γνωμάτευση εμφάνισης άσθματος	παιδιά 0-14	4.116.170
Ιατρική γνωμάτευση εμφάνισης άσθματος	ενήλικοι 15-64	4.579
Ιατρική γνωμάτευση εμφάνισης άσθματος	ηλικιωμένοι > 64	2.377
Ιατρική γνωμάτευση παθήσεων του άνω αναπνευστικού	παιδιά 0-14	12.526
Ιατρική γνωμάτευση παθήσεων του άνω αναπνευστικού	ενήλικοι 15-64	40.661
Ιατρική γνωμάτευση παθήσεων του άνω αναπνευστικού	ηλικιωμένοι > 64	16.640
Οξεία συμπτώματα του αναπνευστικού συστήματος	σύνολο πληθυσμού	42.710.629
Σύνολο		60.326.880

Το συνολικό εξωτερικό κόστος για την ανθρώπινη υγεία που προκύπτει από τη μελέτη ανέρχεται σε 60,3 εκατομμύρια ευρώ περίπου.

Η αποτίμηση των επιπτώσεων ως προς την πρόκληση βλαβών σε δομικά υλικά δεν είναι εφικτό να υπολογιστεί με αναλυτικό τρόπο, λόγω απουσίας των απαραίτητων δεδομένων. Τα δεδομένα που απουσιάζουν είναι ο αριθμός των κατοικιών σε συνδυασμό με την εξωτερική επιφάνεια και το είδος της τελικής επικάλυψης π.χ. χρώμα, σοβάς, πέτρα, κ.λπ.

Λόγω απουσίας των απαιτούμενων δεδομένων δεν καθίσταται εφικτός και ο αναλυτικός υπολογισμός του εξωτερικού κόστους από τις ζημιές σε δάση, οικοσυστήματα, καλλιέργειες, κ.λπ.

Προκειμένου να συμπεριληφθούν και αυτά τα μεγέθη στους υπολογισμούς του εξωτερικού κόστους, αναζητήθηκαν συναφή δεδομένα από άλλες ερευνητικές εργασίες. Σύμφωνα με τους Pearce και Howarth (2000), από σύγχρονες ερευνητικές εργασίες στην Ευρωπαϊκή Ένωση και πιο συγκεκριμένα:

- Holland and Krewitt, 1996, «Benefits of an Acidification Strategy for the European Union: reductions of SO_x, NO_x, NH₃ in the European Union»
- AEA Technology, 1998, «Cost Benefit Analysis of Proposals Under the UNECE Multi-Effect Protocol: reductions of SO_x, NO_x, NH₃, VOCs»

προέκυψε ότι το κόστος των επιπτώσεων της υγείας είναι μεταξύ 80 – 94%, του συνολικού κόστους των επιπτώσεων.

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω προκύπτει ότι το εξωτερικό κόστος για τα δομικά υλικά καθώς και για τα δάση, τα οικοσυστήματα και τις καλλιέργειες κυμαίνεται από 3,85 εκατ. ευρώ έως 15,08 εκατ. ευρώ.

Συνεπώς, το συνολικό ετήσιο εξωτερικό κόστος από την εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων κατά την εξόρυξη λιγνίτη με τη συνεχή μέθοδο στην περιοχή μελέτης κυμαίνεται από 64,2 εκατ. ευρώ έως 75,4 εκατ. ευρώ.

Λόγω των απαιτήσεων του λογισμικού, όπως έχει προαναφερθεί, υπολογίστηκαν δυο μοντέλα διασποράς, για την εκσκαφή και την απόθεση αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα αποτίμησης του εξωτερικού κόστους ξεχωριστά για τις δυο περιπτώσεις. Στον Πίνακα 42 φαίνεται αναλυτικά η διακύμανση του εξωτερικού κόστους των δυο περιπτώσεων. Η εκσκαφή αποτελεί το 54,6% του προβλήματος ενώ στην απόθεση αντιστοιχεί ένα ποσοστό 45,4%.

Πίνακας 42. Εξωτερικό κόστος για εκσκαφή - απόθεση

		Εξωτερικό κόστος		
		Σύνολο	Καλλιέργειες - Δομικά	Ανθρώπινη υγεία
Εκσκαφή	Min	35.036.793	2.102.208	32.934.585
	Max	41.168.231	8.233.646	
Απόθεση	Min	29.119.690	1.747.181	27.372.509
	Max	34.215.636	6.843.127	
Σύνολο	Min	64.177.532	3.850.652	60.326.880
	Max	75.408.600	15.081.720	

6.6 Διερεύνηση των παραμέτρων του μοντέλου διασποράς

Όπως έχει αναφερθεί, το βασικό μοντέλο διασποράς που χρησιμοποιήθηκε εκτιμά το χειρίστο σενάριο από πλευράς συγκεντρώσεων, δεδομένου ότι δε λαμβάνει υπόψιν την ξηρή ή υγρή καθίζηση σωματιδίων, ούτε και το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής. Συνεπώς, τα αποτελέσματα αποτελούν την πλέον συντηρητική εκτίμηση.

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση των παραμέτρων αυτών (υγρή και ξηρή απόθεση και τοπογραφία) διαμορφώθηκαν τρία νέα μοντέλα και εξετάστηκε η επίδρασή τους στο συνολικό εξωτερικό κόστος.

Για τη μοντελοποίηση της ξηρής απόθεσης απαιτείται η ταχύτητα καθίζησης και η οριακή ταχύτητα για τα αιωρούμενα σωματίδια PM-10. Η ταχύτητα καθίζησης ελήφθη ίση με 0,0048 m/s (Τσέζος, 1995) και η οριακή ταχύτητα ίση προς 0,006m/s (Claiborn, 1995).

Για την υγρή απόθεση πρέπει να συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς συντελεστές έκπλυσης A και B και η βροχόπτωση. Όσον αφορά στους συντελεστές έκπλυσης A και B χρησιμοποιήθηκαν οι προεπιλεγμένες τιμές (A=0,0001, B=0,64) και η βροχόπτωση της περιοχής, σε mm/h, ελήφθη από τα δεδομένα του Μ.Σ. Πτολεμαΐδας.

Για να διερευνηθεί η επίδραση της τοπογραφίας εισήχθη ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής σε κατάλληλη μορφή. Η μόνη διαφορά σε σχέση με τους προηγούμενους υπολογισμούς είναι λόγω έλλειψη δεδομένων ότι χρησιμοποιήθηκε κάνναβος μικρότερων διαστάσεων για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων, καθώς το λογισμικό απαιτεί το τοπογραφικό να είναι κατά ένα ποσοστό μεγαλύτερο από τον κάνναβο ενδιαφέροντος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κάποιοι από τους οικισμούς για τους οποίους έχουν υπολογιστεί συγκεντρώσεις στις προηγούμενες περιπτώσεις να μείνουν εκτός μετρήσεων έχοντας ως συνέπεια τα αποτελέσματα να μην είναι άμεσα συγκρίσιμα ως προς το συνολικό εξωτερικό κόστος. Σε κάθε περίπτωση, όμως, είναι ενδεικτικά της επίδρασης της σύνθετης τοπογραφίας.

Στον Πίνακα 43 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι συγκεντρώσεις για 10 οικισμούς, για τους οποίους πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί για όλες τις περιπτώσεις συμπεριλαμβανομένης και της περίπτωσης που λαμβάνει υπόψιν τη σύνθετη τοπογραφία.

Πίνακας 43. Ενδεικτική παρουσίαση συγκεντρώσεων

Οικισμός	Συγκεντρώσεις (μg/m ³)			
	Αρχική μελέτη	Σύνθετο ανάγλυφο	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση
ΑΙΑΝΗ	17,8	8,8	2,9	13,8
ΑΝΩ ΚΩΜΗ	25,8	12	4,4	21
ΚΟΖΑΝΗ	36,2	20	6,2	32
ΚΡΟΚΟΣ	33,4	13,1	5,7	28
ΜΑΥΡΟΔΕΝΔΡΙ	30,6	17,1	6,1	29,2
ΜΑΥΡΟΠΗΓΗ	16,6	8,8	5,3	16,8
ΝΕΑΠΟΛΗ	3,1	0,9	0,5	2,2
ΠΟΝΤΟΚΟΜΗ	41,2	21,8	10,7	41,3
ΠΤΟΛΕΜΑΪΔΑ	1	2,2	0,4	0,9
ΣΙΑΤΙΣΤΑ	3,7	1,4	0,6	2,8

Το εύρος του συνολικού εξωτερικού κόστους και η ποσοστιαία μεταβολή του για κάθε μοντέλο σε σχέση με το εξωτερικό κόστος που υπολογίστηκε από το βασικό μοντέλο φαίνονται στον Πίνακα 44, ενώ η διασπορά της σκόνης στην περιοχή, στους χάρτες που ακολουθούν (Εικ. 15 έως 17) .

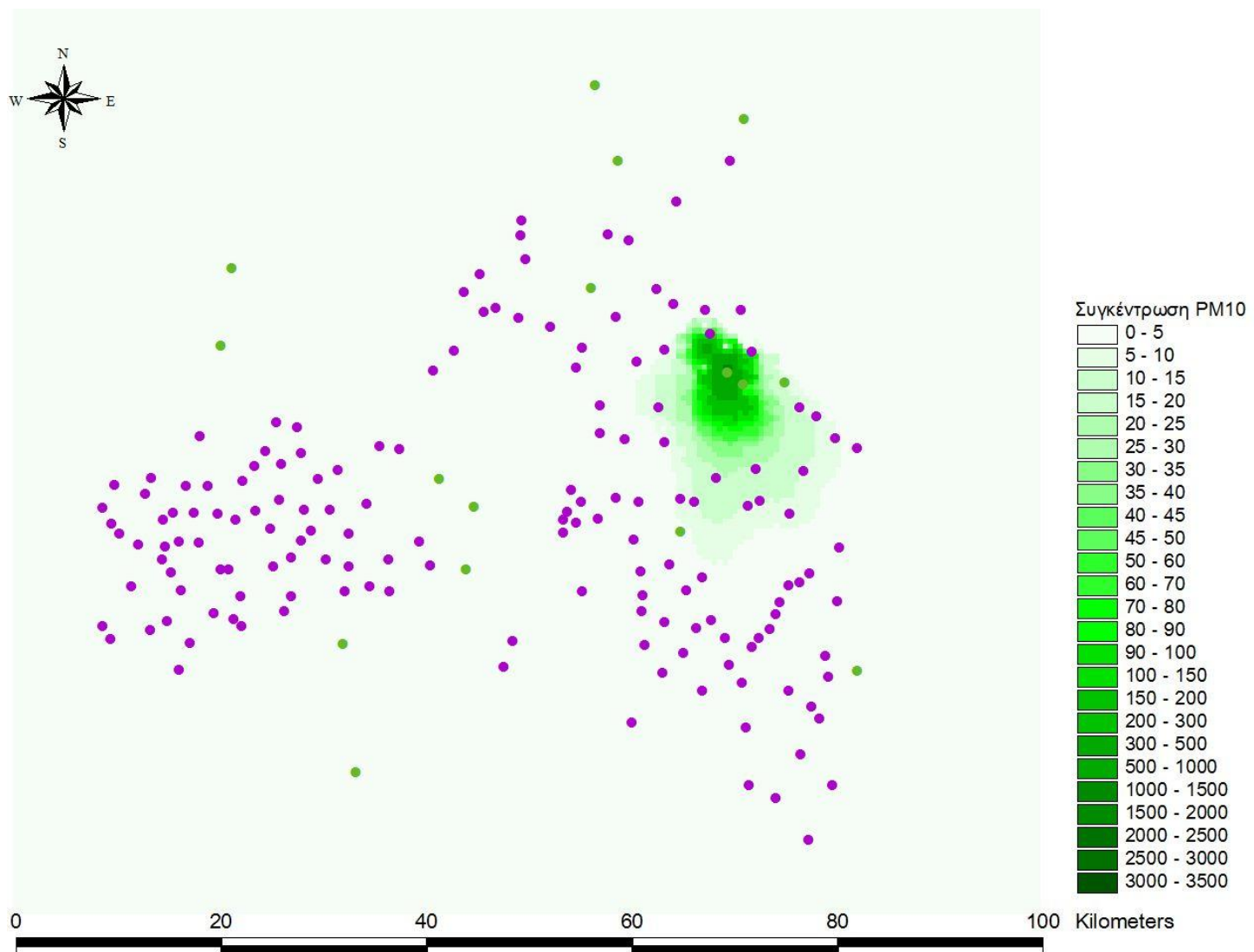
Πίνακας 44. Εύρος και ποσοστιαία μεταβολή εξωτερικού κόστους

	Εξωτερικό κόστος (€)		Ποσοστιαία μεταβολή
	Min	Max	
Αρχική μελέτη	Min	64.177.532	-
	Max	75.408.600	
Ξηρή απόθεση	Min	11.621.566	-82%
	Max	13.655.340	
Υγρή απόθεση	Min	56.153.376	-13%
	Max	65.980.217	
Σύνθετο ανάγλυφο	Min	28.534.986	-56%*
	Max	33.528.608	

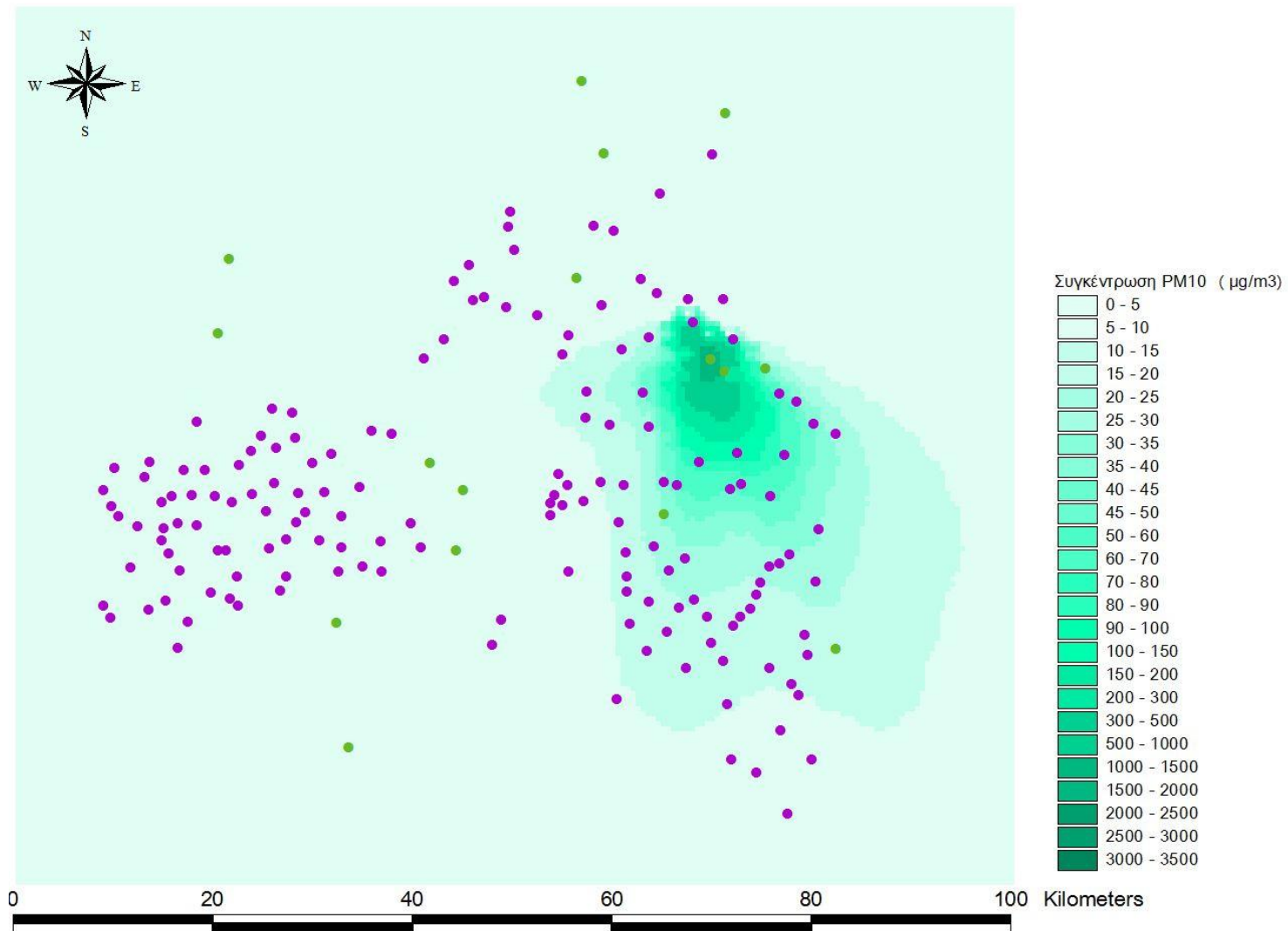
*:όπως αναφέρθηκε τα αποτελέσματα του τρίτου μοντέλου δεν είναι συγκρίσιμα με του αρχικού λόγω του διαφορετικού κανάβου, είναι ωστόσο ενδεικτικά της επίδρασης του αναγλύφου

Όπως παρατηρείται από τα αποτελέσματα, υπάρχει σημαντική επίδραση στις τιμές των συγκεντρώσεων στον κάθε οικισμό και κατ' επέκταση στην τιμή του συνολικού εξωτερικού κόστους. Η σημαντικότερη επίδραση παρατηρείται από την ξηρή απόθεση, η οποία φαίνεται να αφαιρεί σημαντικό τμήμα της αιωρούμενης μάζας από την ατμόσφαιρα, γεγονός που οδηγεί και σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις.

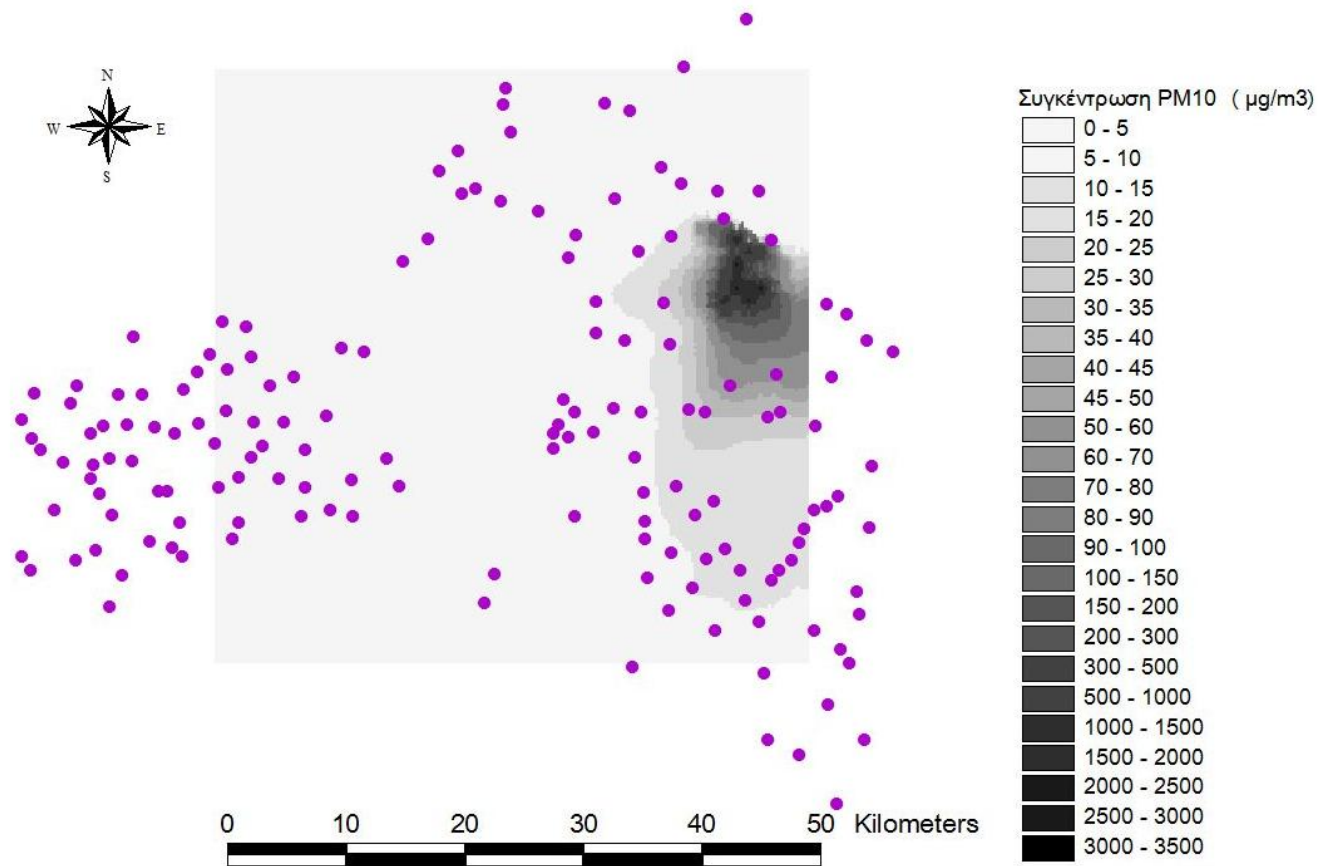
Αναλυτικότερα δεδομένα ανά οικισμό αναφορικά με τις συγκεντρώσεις του κάθε μοντέλου και την ποσοστιαία μεταβολή σε σχέση με τις αρχικές συγκεντρώσεις, δίνονται στο Παράρτημα Β.



Εικόνα 15. Γραφική απεικόνιση διασποράς μοντέλου ξηρής απόθεσης



Εικόνα 16. Γραφική απεικόνιση διασποράς μοντέλου υγρής απόθεσης



Εικόνα 17. Γραφική απεικόνιση διασποράς μοντέλου με σύνθετο ανάγλυφο

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη συμβάλλει σημαντικά στην ελληνική οικονομία και στην ενεργειακή ασφάλεια της χώρας. Ωστόσο, είναι κοινά αποδεκτό ότι η ηλεκτροπαραγωγή από ορυκτά στερεά καύσιμα συνδέεται με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τόσο κατά το στάδιο τη εξόρυξης όσο και κατά το στάδιο της καύσης στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

Στην παρούσα εργασία αποτιμάται, για πρώτη φορά με «από-κάτω-προς-τα-πάνω» μέθοδο και συγκεκριμένα την «Προσέγγιση Τρόπου Επίδρασης», η αποτίμηση των επιπτώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων διαμέτρου κάτω των 10 μm (PM-10) που εκλύονται κατά την εξόρυξη λιγνίτη, στην ανθρώπινη υγεία, και, εμμέσως, στα υλικά και στο οικοσύστημα. Ως περίπτωση μελέτης επιλέχτηκε το Ορυχείο Νοτίου Πεδίου στο ΛΚΔΜ δίνοντας έμφαση στην εκλυόμενη σκόνη από τη συνεχή μέθοδο εκμετάλλευσης. Σε αυτό το πλαίσιο, επιλέχτηκαν κατάλληλοι συντελεστές εκπομπής για τον εξοπλισμό βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας και, ακολούθως, χρησιμοποιήθηκε εξειδικευμένο λογισμικό για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των σωματιδίων σε ακτίνα περίπου 100 km από το κέντρο του Ορυχείου. Οι φυσικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία εκτιμήθηκαν με βάση τις πλέον πρόσφατες εξισώσεις δόσης-απόκρισης και, στη συνέχεια, αποτιμήθηκαν σε οικονομικούς όρους σύμφωνα με τις αποδεκτές από τα συναφή προγράμματα της Ε.Ε. τιμές μονάδας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, στις πέντε μεγάλες πόλεις που περιλαμβάνονται στην περιοχή της μελέτης παρουσιάζονται συγκεντρώσεις μικρότερες του ανώτατου επιτρεπόμενου ορίου των 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Εντούτοις, το ετήσιο εξωτερικό κόστος για την ανθρώπινη υγεία αποτιμάται σε 60,3 εκατ. ευρώ περίπου, από το οποίο υπολογίζεται εμμέσως και το εξωτερικό κόστος για τα δομικά υλικά καθώς και για τα δάση, τα οικοσυστήματα και τις καλλιέργειες, που κυμαίνεται από 3,85 εκατ. ευρώ έως 15,08 εκατ. ευρώ. Συνεπώς, το συνολικό ετήσιο εξωτερικό κόστος από την εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων κατά την εξόρυξη λιγνίτη με τη συνεχή μέθοδο στην περιοχή μελέτης κυμαίνεται από 64,2 εκατ. ευρώ έως 75,4 εκατ. ευρώ. Το εξωτερικό κόστος προκαλείται κατά 54,6% από την εκσκαφή του λιγνίτη και κατά 45,4% από την απόθεση των στείρων υλικών.

Τα παραπάνω αποτελέσματα, ωστόσο, αφορούν στο πλέον δυσμενές σενάριο εκτίμησης, καθώς δεν λαμβάνεται υπόψη η υγρή και ξηρή απόθεση των σωματιδίων, ούτε και η επίδραση του τοπογραφικού αναγλύφου. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση του εξωτερικού κόστους μέχρι και 80%.

Συμπερασματικά, η εξορυκτική δραστηριότητα στην περιοχή του ΛΚΔΜ δημιουργεί ένα εξωτερικό κόστος, το οποίο αποτιμάται, με βάση τη συντηρητική προσέγγιση, σε 70 εκατ. ευρώ περίπου. Ωστόσο, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι εκτιμήσεις ενέχουν αβεβαιότητες που οφείλονται, κυρίως, στους συντελεστές εκπομπής σκόνης και, δευτερευόντως, στις εξισώσεις έκθεσης-απόκρισης, στις μονεταριστικές μοναδιαίες τιμές των επιπτώσεων και στο μοντέλο διασποράς του εκλυόμενου ρύπου, παραμέτρους στις οποίες θα πρέπει να επικεντρωθεί και η μελλοντική επιστημονική έρευνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. Ξενόγλωσση

European Commission – European IPPC Bureau (2003). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC): Draft Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, Institute for Prospective Technological Studies, Seville, March 2003

European Commission – European IPPC Bureau (2004). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC): Draft Reference Document on Economics and Cross-Media Effects, Institute for Prospective Technological Studies, Seville, November 2004

European Commission (2002). Benefits Table Database: Estimates of the marginal external costs of air pollution in Europe, ver. E1.02a, prepared by Holland, M. and Watkiss, A. for DG Environment, European Commission

WHO (2000). Air Quality Guidelines for Europe, 2nd edition, WHO Regional Office for Europe Copenhagen

Markandya, A. and Boyd, R. (2000). Economic Valuation of Environmental Impacts and External Costs, Metroeconomica Consultants, Ltd Bath UK

J. V. Spadaro (2002) “A Simplified Methodology for Calculating the Health Impacts and Damages Costs of Airborne Pollution : The Uniform World Models”, International Atomic Energy Agency

P. Bickel (2003) “Economic Valuation of Health Effects due to Airborne Pollutants in ExternE” University of Stuttgart

A. Rabl and J.V. Spadaro (1999) “An Analysis of the Uncertainties of Impacts and Costs of Air Pollution” Centre d’ Energetique Ecole des Mines de Paris

A. Markandya (2000) “Best Practice Methods for Valuing Energy Benefits” Department of Economics, University of Bath, UK

“External Economic Benefits and Costs in Water and Solid Waste Investments Methodology, Guidelines and Case Studies” (1998) Institute for Environmental Studies (IVM) Pieter van Beukering, Michiel van Drunen, Kees Dorland, Huib Jansen. Economics For The Environment Consultancy Ltd (EFTEC) Ece Ozdemiroglu, David Pearce

ADMS 4 User guide Version 4.2 (2010)

Philipp Preiss, Volker Klotz (2008) NEEDS, “Description of updated and extended draft tools for the detailed site-dependent assessment of external costs” University of Stuttgart

National Pollutant Inventory (2001) “Emission Estimation Technique Manual for Mining” Version 2.3

Mrinal K. Ghose (2007) “Opencast Coal Mining in India: Development of Emission Factors and Quantification of Mine Dust Emissions”

USEPA (1998), “Emissions Factors & AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors”

C. Claiborn, A. Mitra, G. Adams, L. Bamesberger, G. Allwine, R. Kantamaneni, B. Lamb, H. Westberg (1995) “Atmospheric Environment” Volume 29, Issue 10, pages 1075-1089, Laboratory for Atmospheric Research, Washington State University, U.S.A.

B. Ελληνική

ΥΠΕΧΩΔΕ, (2001). Η Οδηγία 96/61/ΕΚ για την Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχο της Ρύπανσης (IPPC) και οι Ελληνικές προτάσεις για τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές: Παραγωγή Ηλεκτρικού Ρεύματος, Αθήνα

Καλιαμπάκος Δ. (2001). Περιβάλλον ΙΙ: Προστασία Περιβάλλοντος στη Μεταλλευτική Δραστηριότητα, Διδακτικές Σημειώσεις, ΕΜΠ, Αθήνα

Δ. Καλιαμπάκος (2000) ”Ειδικά Θέματα Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής και Λατομικής Τεχνολογίας” Διδακτικές Σημειώσεις και Εργαστηριακές Ασκήσεις, ΕΜΠ, Αθήνα

Μ.Τσέζος, Ε.Ρεμουντάκη (1995) “Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική” ΕΜΠ, Αθήνα

Δ.Καλιαμπάκος, Δ.Δαμίγος (2001)”Διαχείριση Περιβάλλοντος / Νομοθεσία” Διδακτικές Σημειώσεις, ΕΜΠ, Αθήνα

Ν.Κονισπολιάτης (2004) “Περιβαλλοντική Γεωχημεία” ΕΜΠ, Αθήνα

Γ.Χ. Κωττής (1994) ”Οικολογία και Οικονομία” Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα

- T. Tietenberg (2000) (μετάφραση Π.Γρεβενίτης) “Οικονομική του Περιβάλλοντος και των Φυσικών Πόρων” Τόμος Α’ Gutenberg, Αθήνα
- Γ. Μπεργελές (2006) “Πηγές, διασπορά και έλεγχος ατμοσφαιρικής ρύπανσης” Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- Δ. Μελάς (2007) “Ατμοσφαιρική διάχυση και διασπορά”, Κεφ. 5 & 6, ΑΠΘ, Τμήμα Φυσικής, Εργαστήριο Φυσικής Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη
- ΔΕΗ Α.Ε., Γενική Διεύθυνση ορυχείων (2010) “Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων ορυχείων Πτολεμαΐδας, Ν. Κοζάνης” Κεφ. 4 & 5, Echmes Ltd, Περιβαλλοντικές, Χημικές και Μεταλλουργικές Υπηρεσίες Ε.Π.Ε., Αθήνα
- Α. Παπαγιάννης (2005) “Φυσική ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος” Διδακτικές Σημειώσεις, ΕΜΠ, Αθήνα

Γ. Πηγές διαδικτύου

ΔΕΗ Α.Ε. <http://www.dei.gr/>

Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας <http://www.rae.gr>

Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ)
<http://www.desmie.gr/>

<http://penteli.meteo.gr/meteosearch/>

International Energy Agency (IEA) www.iea.org

Envir. Canada <http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=en&n=A9C1EE34-1>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Αποτελέσματα βασικού μοντέλου διασποράς

Οικισμός	Συγκέντρωση (mg/m ³)			Ποσοστό(%)	
	Σύνολο	Εκκαφή	Απόθεση	Εκκαφή	Απόθεση
ΜΕΣΟΒΟΥΝΟΝ	0	0	0	-	-
ΚΟΜΝΗΝΑ	0	0	0	-	-
ΟΛΥΜΠΙΑΣ	0,2	0,1	0,1	50%	50%
ΠΕΡΔΙΚΑΣ	0,1	0	0	0%	0%
ΓΑΛΑΤΕΙΑ	0,4	0,2	0,2	50%	50%
ΠΕΝΤΑΒΡΥΣΟΣ	0,1	0,1	0,1	100%	100%
ΔΡΟΣΕΡΟΝ	0,7	0,3	0,4	43%	57%
ΦΟΥΦΑΣ	1,3	0,6	0,7	46%	54%
ΑΓΙΟΣ ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ	0,2	0,1	0,1	50%	50%
ΜΗΛΟΧΩΡΙΟΝ	2	0,9	1,1	45%	55%
ΚΑΡΥΟΧΩΡΙΟΝ	0,4	0,1	0,3	25%	75%
ΕΡΜΑΚΙΑ	0,1	0	0,1	0%	100%
ΣΠΗΛΙΑ	0,2	0,1	0,1	50%	50%
ΑΝΑΡΡΑΧΗ	2,7	1,2	1,5	44%	56%
ΕΜΠΟΡΙΟΝ	2,6	1,2	1,4	46%	54%
ΠΡΟΑΣΤΙΟΝ	2,5	0,6	1,9	24%	76%
ΚΡΥΟΒΡΥΣΗ	3,4	1,5	1,9	44%	56%
ΑΡΔΑΣΣΑ	3,9	1,6	2,3	41%	59%
ΠΤΕΛΕΩΝ	88,7	0,1	88,6	0%	100%
ΑΣΒΕΣΤΟΠΕΤΡΑ	7,2	2,8	4,4	39%	61%
ΒΛΑΣΤΗ	4,3	2,1	2,2	49%	51%
ΜΑΥΡΟΠΗΓΗ	16,6	6	10,6	36%	64%
ΠΡΟΦ. ΗΛΙΑΣ	10,1	4,7	5,5	47%	54%
ΣΙΣΑΝΙΟΝ	4,8	2,5	2,3	52%	48%
ΑΓΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	52,9	24,7	28,2	47%	53%
ΛΙΒΕΡΑ	18,6	10,9	7,6	59%	41%
ΠΟΝΤΟΚΟΜΗ	41,2	23,9	17,3	58%	42%
ΡΥΑΚΙΟΝ	45,1	23,2	21,9	51%	49%
ΣΗΜΑΝΤΡΟΝ	3,2	1,8	1,4	56%	44%
ΤΕΤΡΑΛΟΦΟΝ	43,2	24,7	18,5	57%	43%
ΣΙΔΕΡΑΣ	14,8	8,7	6,1	59%	41%
ΠΛΑΤΑΝΙΑ	3,4	1,9	1,5	56%	44%
ΚΤΕΝΑΣ	17,2	9,9	7,2	58%	42%
ΜΑΥΡΟΔΕΝΔΡΙΟΝ	30,6	15,9	14,7	52%	48%
ΑΓΙΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ	31,2	17,6	13,6	56%	44%
ΣΚΑΛΟΧΩΡΙΟΝ	2,6	1,5	1,2	58%	46%
ΔΡΥΟΒΟΥΝΟΝ	4,5	2,6	1,9	58%	42%
ΠΕΛΕΚΑΝΟΣ	4,8	2,8	2	58%	42%
ΣΤΕΡΝΑ	3,2	1,8	1,4	56%	44%
ΜΟΛΟΧΑ	3,5	2	1,5	57%	43%

Οικισμός	Συγκέντρωση (mg/m ³)			Ποσοστό(%)	
	Σύνολο	Εκσκαφή	Απόθεση	Εκσκαφή	Απόθεση
ΓΑΛΑΝΙΟΝ	121,8	79,7	42,1	65%	35%
ΚΟΙΛΑΣ	74,9	46,2	28,8	62%	38%
ΒΕΛΑΝΙΔΙΑ	3,2	1,9	1,4	59%	44%
ΔΡΕΠΑΝΟΝ	95,1	59,8	35,3	63%	37%
ΚΡΥΟΝΕΡΙΟΝ	3	1,7	1,3	57%	43%
ΜΕΛΙΔΟΝΙΟΝ	3,7	2,1	1,6	57%	43%
ΧΕΙΜΕΡΙΝΟΝ	3,4	2	1,4	59%	41%
ΔΑΜΑΣΚΗΝΕΑ	2,3	1,3	1	57%	43%
ΑΝΘΟΤΟΠΟΣ	7,9	4,5	3,4	57%	43%
ΑΣΠΡΟΥΛΑ	2,8	1,6	1,2	57%	43%
ΚΟΙΛΑ	40,1	20,6	19,5	51%	49%
ΠΤΕΛΕΑ	71,6	44	27,6	61%	39%
ΜΕΣΟΛΟΓΓΟΣ	2,6	1,5	1,1	58%	42%
ΛΥΓΕΡΗ	11,6	6,3	5,3	54%	46%
ΠΛΑΚΙΔΑ	2,5	1,4	1,1	56%	44%
ΔΡΑΓΑΣΙΑ	2,1	1,2	0,9	57%	43%
ΜΕΛΛΙΣΙΑ	58,5	33	25,5	56%	44%
ΝΕΑ ΝΙΚΟΠΟΛΙΣ	15,7	8,2	7,4	52%	47%
ΓΑΛΙΑΝΑ	60,5	36,8	23,7	61%	39%
ΚΗΠΑΡΙΟΝ	8,3	4,6	3,6	55%	43%
ΚΛΕΙΣΩΡΙΑ	2,2	1,3	1	59%	45%
ΟΙΝΟΗ	63,1	40,2	23	64%	36%
ΧΟΡΗΓΟΣ	2,9	1,7	1,2	59%	41%
ΑΛΙΑΚΜΩΝ	3,4	2	1,4	59%	41%
ΚΟΚΚΙΝΑΡΑΣ	7	3,9	3	56%	43%
ΝΕΑΠΟΛΙΣ	3,1	1,8	1,3	58%	42%
ΚΑΛΑΜΙΑ	8,9	4,9	4	55%	45%
ΑΗΔΟΝΟΧΩΡΙΟΝ	3	1,7	1,2	57%	40%
ΛΕΥΚΟΘΕΑ	2,7	1,5	1,1	56%	41%
ΣΚΗΤΗ	6,8	3,8	3	56%	44%
ΖΩΝΗ	2	1,2	0,9	60%	45%
ΑΛΩΝΑΚΙΑ	7,4	4,1	3,3	55%	45%
ΔΙΧΕΙΜΑΡΡΟΝ	2,4	1,4	1	58%	42%
ΣΤΑΥΡΟΔΡΟΜΙΟΝ	2,4	1,4	1	58%	42%
ΛΙΚΝΑΔΕΣ	2,3	1,3	1	57%	43%
ΛΕΥΚΑΔΙΟΝ	2,5	1,4	1	56%	40%
ΛΕΥΚΗ	2,2	1,3	0,9	59%	41%
ΞΗΡΟΛΙΜΝΗ	6,7	3,7	2,9	55%	43%
ΑΠΙΔΕΑ	2,6	1,5	1,1	58%	42%
ΠΟΛΥΚΑΣΤΑΝΟΝ	2	1,1	0,8	55%	40%
ΚΑΛΛΙΣΤΡΑΤΙΟΝ	2,8	1,6	1,2	57%	43%
ΒΑΤΕΡΟΝ	14,6	7,6	6,9	52%	47%
ΠΕΠΟΝΙΑ	2,9	1,7	1,2	59%	41%

Οικισμός	Συγκέντρωση (mg/m ³)			Ποσοστό(%)	
	Σύνολο	Εκσκαφή	Απόθεση	Εκσκαφή	Απόθεση
ΛΕΥΚΑΡΑ	38,9	23,5	15,4	60%	40%
ΚΑΛΟΝΕΡΙΟΝ	3,4	1,9	1,4	56%	41%
ΔΑΦΝΗ	1,9	1,1	0,8	58%	42%
ΠΕΡΙΣΤΕΡΑ	2,6	1,5	1,1	58%	42%
ΑΓΙΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ	2,1	1,2	0,9	57%	43%
ΑΓΙΑΣΜΑ	2,2	1,3	0,9	59%	41%
ΑΓΙΟΙ ΑΝΑΡΓΥΡΟΙ	1,9	1,1	0,8	58%	42%
ΑΧΛΑΔΕΑ	2	1,2	0,9	60%	45%
ΛΕΥΚΟΒΡΥΣΗ	26,7	14,7	12	55%	45%
ΠΟΛΥΛΑΚΚΟΝ	2,9	1,7	1,2	59%	41%
ΛΟΥΚΟΜΩΝ	2,4	1,4	1	58%	42%
ΠΥΛΩΡΙΟΝ	2,5	1,5	1,1	60%	44%
ΡΟΔΙΤΗΣ	38	23,2	14,8	61%	39%
ΑΡΓΙΛΟΣ	17,6	9,3	8,4	53%	48%
ΜΙΚΡΟΚΑΣΤΡΟΝ	3,2	1,8	1,4	56%	44%
ΚΟΙΛΑΔΙΟΝ	2	1,1	0,8	55%	40%
ΑΞΙΟΚΑΣΤΡΩΝ	2,6	1,5	1,1	58%	42%
ΚΡΟΚΟΣ	33,4	20	13,5	60%	40%
ΤΣΟΤΙΔΙΟΝ	2,2	1,3	0,9	59%	41%
ΜΕΣΙΑΝΗ	33	19,8	13,1	60%	40%
ΓΛΥΚΟΚΕΡΑΣΕΑ	2,1	1,2	0,9	57%	43%
ΟΜΑΛΗ	2	1,2	0,9	60%	45%
ΒΑΘΥΛΑΚΚΟΣ	29	17,2	11,8	59%	41%
ΑΝΘΟΥΣΑ	1,9	1,1	0,8	58%	42%
ΚΑΡΥΔΙΤΣΑ	28,6	16,7	11,9	58%	42%
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	7,5	4,1	3,4	55%	45%
ΠΑΝΑΡΕΤΗ	2,6	1,5	1,1	58%	42%
ΠΡΩΤΟΧΩΡΙΟΝ	17,4	9,4	8	54%	46%
ΝΕΡΑΙΔΑ	30,9	18,8	12,2	61%	39%
ΤΡΑΠΕΖΙΤΣΑ	2,7	1,5	1,1	56%	41%
ΑΜΥΓΔΑΛΕΑ	25,1	14,8	10,3	59%	41%
ΚΛΗΜΑ	2,4	1,4	1	58%	42%
ΑΥΓΕΡΙΝΟΣ	1,7	1	0,7	59%	41%
ΤΡΙΑΔΑ	1,8	1	0,8	56%	44%
ΑΝΘΟΧΩΡΙΟΝ	2,1	1,2	0,9	57%	43%
ΛΟΥΒΡΗ	1,9	1,1	0,8	58%	42%
ΑΝΑΤΟΛΗ	22,9	13,5	9,3	59%	41%
ΛΕΥΚΟΠΗΓΗ	17,1	9,3	7,8	54%	46%
ΑΝΩ ΚΩΜΗ	25,8	15,5	10,3	60%	40%
ΦΥΤΩΚΙΟΝ	2	1,2	0,9	60%	45%
ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	21,2	12	9,2	57%	43%
ΒΟΥΧΩΡΙΝΑ	1,8	1	0,8	56%	44%
ΣΤΑΥΡΩΤΗ	20,4	12,1	8,3	59%	41%

Οικισμός	Συγκέντρωση (mg/m ³)			Ποσοστό(%)	
	Σύνολο	Εκσκαφή	Απόθεση	Εκσκαφή	Απόθεση
ΜΗΛΕΑ	24,1	14,3	9,8	59%	41%
ΚΡΙΜΗΝΙΩΝ	1,8	1	0,8	56%	44%
ΜΟΡΦΗ	1,6	0,9	0,7	56%	44%
ΚΟΝΤΟΒΟΥΝΙΟΝ	19,6	11,7	7,9	60%	40%
ΚΑΤΩ ΚΩΜΗ	22	13,2	8,8	60%	40%
ΡΟΔΟΧΩΡΙΟΝ	1,8	1	0,8	56%	44%
ΒΥΘΟΣ	1,5	0,9	0,6	60%	40%
ΑΓΙΑ ΣΩΤΗΡΑ	1,6	0,9	0,7	56%	44%
ΣΠΑΡΤΟΝ	19,1	11,4	7,7	60%	40%
ΠΑΛΑΙΟΚΑΣΤΡΟΝ	4,3	2,4	1,9	56%	44%
ΡΟΔΙΑΝΗ	16,2	9	7,3	56%	45%
ΚΡΑΝΙΔΙΑ	21,4	12,7	8,7	59%	41%
ΚΕΡΑΣΕΑ	20,9	12,2	8,6	58%	41%
ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ	1,4	0,8	0,6	57%	43%
ΚΟΥΡΥΦΗ	1,6	0,9	0,7	56%	44%
ΚΗΡΟΣ	19,1	11,5	7,7	60%	40%
ΔΑΦΝΕΡΟΝ	4	2,2	1,8	55%	45%
ΑΥΛΑΙ	18,7	11	7,7	59%	41%
ΚΤΕΝΙΟΝ	17,6	10,1	7,5	57%	43%
ΚΑΙΣΑΡΕΙΑ	17,1	10,2	6,9	60%	40%
ΧΡΥΣΑΥΓΗ	1,5	0,9	0,6	60%	40%
ΓΟΥΛΑΙ	14,7	8,6	6,1	59%	41%
ΑΙΑΝΗ	17,8	10,5	7,2	59%	40%
ΠΡΟΣΗΛΙΟΝ	14,5	8,4	6	58%	41%
ΠΟΛΥΡΡΑΧΟΝ	13,9	8,1	5,8	58%	42%
ΧΡΩΜΙΟΝ	12,7	7,2	5,5	57%	43%
ΡΥΜΝΙΟΝ	13,8	8,2	5,6	59%	41%
ΤΡΙΓΩΝΙΚΟΝ	11,4	6,7	4,7	59%	41%
ΜΕΤΑΞΕΑΣ	10,7	6,2	4,5	58%	42%
ΜΙΚΡΟΒΑΛΤΟΝ	11,1	6,6	4,6	59%	41%
ΠΡΟΦ. ΗΛΙΑΣ	9,9	5,8	4,1	59%	41%
ΛΙΒΑΔΕΡΟΝ	8,4	4,9	3,5	58%	42%
ΑΓΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ	2,2	1,2	0,9	55%	41%
ΑΚΡΙΝΗ	40,3	7,7	32,6	19%	81%
ΑΜΥΝΤΑΙΟΝ	0	0	0	-	-
ΑΡΓΟΣ ΟΡΕΣΤΙΚΟΝ	2,1	1,1	1	52%	48%
ΕΡΑΤΥΡΑ	4,8	2,8	2	58%	42%
ΦΙΛΩΤΑΣ	0,1	0	0	0%	0%
ΦΛΩΡΙΝΑ	0	0	0	-	-
ΓΑΛΑΤΙΝΗ	4,6	2,6	1,9	57%	41%
ΓΡΕΒΕΝΑ	2	1,1	0,9	55%	45%
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	1,3	0,7	0,6	54%	46%
ΚΟΖΑΝΗ	36,2	19,7	16,5	54%	46%

Οικισμός	Συγκέντρωση (mg/m ³)			Ποσοστό(%)	
	Σύνολο	Εκσκαφή	Απόθεση	Εκσκαφή	Απόθεση
ΠΤΟΛΕΜΑΪΣ	1	0,3	0,7	30%	70%
ΠΥΡΓΟΙ	0	0	0	-	-
ΣΕΡΒΙΑ	21,1	12,5	8,5	59%	40%
ΣΙΑΤΙΣΤΑ	3,7	2,1	1,6	57%	43%

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Αποτελέσματα μοντέλων ξηρής / υγρής απόθεσης και τοπογραφίας

Οικισμός	Πληθυσμός	Συγκεντρώσεις (μg/m ³)				Ποσοστιαίες μεταβολές (%)		
		Αρχική μελέτη	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση
ΜΕΣΟΒΟΥΝΟΝ	515	0	-	0	0	-	0,0%	0,0%
ΚΟΜΝΗΝΑ	1106	0	-	0	0	-	0,0%	0,0%
ΟΛΥΜΠΙΑΣ	693	0,2	1,2	0,1	0,2	500,0%	-50,0%	0,0%
ΠΕΡΔΙΚΑΣ	1854	0,1	1,8	0	0,1	1700,0%	-100,0%	0,0%
ΓΑΛΑΤΕΙΑ	530	0,4	1,2	0,2	0,4	200,0%	-50,0%	0,0%
ΠΕΝΤΑΒΡΥΣΟΣ	305	0,1	2,1	0	0,1	2000,0%	-100,0%	0,0%
ΔΡΟΣΕΡΟΝ	327	0,7	1,4	0,3	0,6	100,0%	-57,1%	-14,3%
ΦΟΥΦΑΣ	857	1,3	1,5	0,5	1,1	15,4%	-61,5%	-15,4%
ΑΓΙΟΣ ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ	810	0,2	2,3	0,1	0,3	1050,0%	-50,0%	50,0%
ΜΗΛΟΧΩΡΙΟΝ	743	2	1,4	0,7	1,6	-30,0%	-65,0%	-20,0%
ΚΑΡΥΟΧΩΡΙΟΝ	597	0,4	2,5	0,3	0,7	525,0%	-25,0%	75,0%
ΕΡΜΑΚΙΑ	436	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0%	0,0%	0,0%
ΣΠΗΛΙΑ	134	0,2	0,6	0,1	0,2	200,0%	-50,0%	0,0%
ΑΝΑΡΡΑΧΗ	1150	2,7	1,7	0,8	2	-37,0%	-70,4%	-25,9%
ΕΜΠΟΡΙΟΝ	1003	2,6	1,6	0,8	2	-38,5%	-69,2%	-23,1%
ΠΡΟΑΣΤΙΟΝ	863	2,5	3,3	1	2,4	32,0%	-60,0%	-4,0%
ΚΡΥΟΒΡΥΣΗ	191	3,4	2,1	1,1	2,9	-38,2%	-67,6%	-14,7%
ΑΡΔΑΣΣΑ	952	3,9	2,6	1,2	3,4	-33,3%	-69,2%	-12,8%
ΠΤΕΛΕΩΝ	113	88,7	38,4	132	249	-56,7%	48,4%	180,2%
ΑΣΒΕΣΤΟΠΕΤΡΑ	740	7,2	3,8	2,1	6,2	-47,2%	-70,8%	-13,9%
ΒΛΑΣΤΗ	645	4,3	1,8	1,1	3,3	-58,1%	-74,4%	-23,3%
ΜΑΥΡΟΠΗΓΗ	649	16,6	8,8	5,3	16,8	-47,0%	-68,1%	1,2%
ΠΡΟΦ. ΗΛΙΑΣ	333	10,1	4,8	2,9	9,3	-52,5%	-71,3%	-7,9%
ΣΙΣΑΝΙΟΝ	348	4,8	2,1	1,2	3,7	-56,3%	-75,0%	-22,9%

Οικισμός	Πληθυσμός	Συγκεντρώσεις (μg/m ³)				Ποσοστιαίες μεταβολές (%)		
		Αρχική μελέτη	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση
ΑΓΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	1077	52,9	-	10,7	51,1	-	-79,8%	-3,4%
ΛΙΒΕΡΑ	110	18,6	8,3	4,2	16,1	-55,4%	-77,4%	-13,4%
ΠΟΝΤΟΚΟΜΗ	1316	41,2	21,8	10,7	41,3	-47,1%	-74,0%	0,2%
ΡΥΑΚΙΟΝ	339	45,1	-	9,3	46,2	-	-79,4%	2,4%
ΣΗΜΑΝΤΡΟΝ	49	3,2	1,6	0,7	2,4	-50,0%	-78,1%	-25,0%
ΤΕΤΡΑΛΟΦΟΝ	454	43,2	-	7,4	39,4	-	-82,9%	-8,8%
ΣΙΔΕΡΑΣ	339	14,8	5,2	3,1	13,3	-64,9%	-79,1%	-10,1%
ΠΛΑΤΑΝΙΑ	121	3,4	1,7	0,7	2,6	-50,0%	-79,4%	-23,5%
ΚΤΕΝΑΣ	109	17,2	6,2	3,4	15,4	-64,0%	-80,2%	-10,5%
ΜΑΥΡΟΔΕΝΔΡΙΟΝ	1253	30,6	17,1	6,1	29,2	-44,1%	-80,1%	-4,6%
ΑΓΙΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ	187	31,2	-	5,3	28,8	-	-83,0%	-7,7%
ΣΚΑΛΟΧΩΡΙΟΝ	176	2,6	-	0,6	1,9	-	-76,9%	-26,9%
ΔΡΥΟΒΟΥΝΟΝ	402	4,5	2	0,9	3,5	-55,6%	-80,0%	-22,2%
ΠΕΛΕΚΑΝΟΣ	543	4,8	2	1	3,8	-58,3%	-79,2%	-20,8%
ΣΤΕΡΝΑ	46	3,2	-	0,6	2,3	-	-81,3%	-28,1%
ΜΟΛΟΧΑ	190	3,5	1,6	0,7	2,6	-54,3%	-80,0%	-25,7%
ΓΑΛΑΝΙΟΝ	29	121,8	60,5	17,7	104	-50,3%	-85,5%	-14,9%
ΚΟΙΛΑΣ	393	74,9	-	10,3	65,4	-	-86,2%	-12,7%
ΒΕΛΑΝΙΔΙΑ	110	3,2	1,4	0,6	2,4	-56,3%	-81,3%	-25,0%
ΔΡΕΠΑΝΟΝ	1369	95,1	50,9	18,5	87,2	-46,5%	-80,5%	-8,3%
ΚΡΥΟΝΕΡΙΟΝ	64	3	-	0,6	2,1	-	-80,0%	-30,0%
ΜΕΛΙΔΟΝΙΟΝ	68	3,7	1,5	0,7	2,8	-59,5%	-81,1%	-24,3%
ΧΕΙΜΕΡΙΝΟΝ	87	3,4	1,3	0,7	2,6	-61,8%	-79,4%	-23,5%
ΔΑΜΑΣΚΗΝΕΑ	306	2,3	-	0,4	1,6	-	-82,6%	-30,4%
ΑΝΘΟΤΟΠΟΣ	169	7,9	3,5	1,4	6,6	-55,7%	-82,3%	-16,5%

Οικισμός	Πληθυσμός	Συγκεντρώσεις (μg/m ³)				Ποσοστιαίες μεταβολές (%)		
		Αρχική μελέτη	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση
ΑΣΠΡΟΥΛΑ	121	2,8	-	0,5	2	-	-82,1%	-28,6%
ΚΟΙΛΑ	1470	40,1	23,4	7,5	38,5	-41,6%	-81,3%	-4,0%
ΠΤΕΛΕΑ	174	71,6	32	10,6	65,3	-55,3%	-85,2%	-8,8%
ΜΕΣΟΛΟΓΓΟΣ	76	2,6	-	0,5	1,8	-	-80,8%	-30,8%
ΛΥΓΕΡΗ	165	11,6	5,5	2,1	10,4	-52,6%	-81,9%	-10,3%
ΠΛΑΚΙΔΑ	11	2,5	-	0,5	1,7	-	-80,0%	-32,0%
ΔΡΑΓΑΣΙΑ	95	2,1	-	0,4	1,5	-	-81,0%	-28,6%
ΜΕΛΛΙΣΙΑ	24	58,5	29,5	10,3	51,3	-49,6%	-82,4%	-12,3%
ΝΕΑ ΝΙΚΟΠΟΛΙΣ	224	15,7	7,4	2,8	14,5	-52,9%	-82,2%	-7,6%
ΓΑΛΙΑΝΑ	29	60,5	27,2	9,9	55,3	-55,0%	-83,6%	-8,6%
ΚΗΠΑΡΙΟΝ	68	8,3	4,1	1,4	6,8	-50,6%	-83,1%	-18,1%
ΚΛΕΙΣΩΡΙΑ	88	2,2	-	0,4	1,5	-	-81,8%	-31,8%
ΟΙΝΟΗ	156	63,1	-	8,2	54,9	-	-87,0%	-13,0%
ΧΟΡΗΓΟΣ	153	2,9	1	0,5	2,1	-65,5%	-82,8%	-27,6%
ΑΛΙΑΚΜΩΝ	281	3,4	0,9	0,6	2,5	-73,5%	-82,4%	-26,5%
ΚΟΚΚΙΝΑΡΑΣ	20	7	3,9	1,2	5,7	-44,3%	-82,9%	-18,6%
ΝΕΑΠΟΛΙΣ	2301	3,1	0,9	0,5	2,2	-71,0%	-83,9%	-29,0%
ΚΑΛΑΜΙΑ	303	8,9	4,2	1,6	7,7	-52,8%	-82,0%	-13,5%
ΑΗΔΟΝΟΧΩΡΙΟΝ	70	3	0,9	0,5	2,1	-70,0%	-83,3%	-30,0%
ΛΕΥΚΟΘΕΑ	56	2,7	-	0,5	1,9	-	-81,5%	-29,6%
ΣΚΗΤΗ	374	6,8	4	1,2	5,6	-41,2%	-82,4%	-17,6%
ΖΩΝΗ	205	2	-	0,4	1,4	-	-80,0%	-30,0%
ΑΛΩΝΑΚΙΑ	383	7,4	4	1,3	6,3	-45,9%	-82,4%	-14,9%
ΔΙΧΕΙΜΑΡΡΟΝ	50	2,4	-	0,4	1,7	-	-83,3%	-29,2%
ΣΤΑΥΡΟΔΡΟΜΙΟΝ	105	2,4	-	0,4	1,7	-	-83,3%	-29,2%

Οικισμός	Πληθυσμός	Συγκεντρώσεις (μg/m ³)				Ποσοστιαίες μεταβολές (%)		
		Αρχική μελέτη	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση
ΛΙΚΝΑΔΕΣ	50	2,3	-	0,4	1,6	-	-82,6%	-30,4%
ΛΕΥΚΑΔΙΟΝ	26	2,5	-	0,4	1,8	-	-84,0%	-28,0%
ΛΕΥΚΗ	22	2,2	-	0,4	1,5	-	-81,8%	-31,8%
ΞΗΡΟΛΙΜΝΗ	424	6,7	3,9	1,1	5,4	-41,8%	-83,6%	-19,4%
ΑΠΙΔΕΑ	41	2,6	0,7	0,4	1,8	-73,1%	-84,6%	-30,8%
ΠΟΛΥΚΑΣΤΑΝΟΝ	174	2	-	0,3	1,3	-	-85,0%	-35,0%
ΚΑΛΛΙΣΤΡΑΤΙΟΝ	45	2,8	0,7	0,5	1,9	-75,0%	-82,1%	-32,1%
ΒΑΤΕΡΟΝ	744	14,6	6,8	2,3	12,3	-53,4%	-84,2%	-15,8%
ΠΕΠΟΝΙΑ	130	2,9	0,7	0,5	2,1	-75,9%	-82,8%	-27,6%
ΛΕΥΚΑΡΑ	2310	38,9	-	4,7	32,2	-	-87,9%	-17,2%
ΚΑΛΟΝΕΡΙΟΝ	579	3,4	0,8	0,6	2,5	-76,5%	-82,4%	-26,5%
ΔΑΦΝΗ	60	1,9	-	0,3	1,3	-	-84,2%	-31,6%
ΠΕΡΙΣΤΕΡΑ	59	2,6	0,6	0,4	1,9	-76,9%	-84,6%	-26,9%
ΑΓΙΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ	70	2,1	-	0,4	1,4	-	-81,0%	-33,3%
ΑΓΙΑΣΜΑ	34	2,2	-	0,4	1,5	-	-81,8%	-31,8%
ΑΓΙΟΙ ΑΝΑΡΓΥΡΟΙ	49	1,9	-	0,3	1,3	-	-84,2%	-31,6%
ΑΧΛΑΔΕΑ	57	2	-	0,3	1,4	-	-85,0%	-30,0%
ΛΕΥΚΟΒΡΥΣΗ	1095	26,7	13,1	4,1	21,5	-50,9%	-84,6%	-19,5%
ΠΟΛΥΛΑΚΚΟΝ	77	2,9	0,8	0,5	2,1	-72,4%	-82,8%	-27,6%
ΛΟΥΚΟΜΩΝ	79	2,4	0,5	0,4	1,7	-79,2%	-83,3%	-29,2%
ΠΥΛΩΡΙΟΝ	85	2,5	0,6	0,4	1,8	-76,0%	-84,0%	-28,0%
ΡΟΔΙΤΗΣ	270	38	-	4,4	29,6	-	-88,4%	-22,1%
ΑΡΓΙΛΟΣ	285	17,6	8,4	2,7	14,3	-52,3%	-84,7%	-18,8%
ΜΙΚΡΟΚΑΣΤΡΟΝ	479	3,2	1	0,5	2,4	-68,8%	-84,4%	-25,0%
ΚΟΙΛΑΔΙΟΝ	43	2	-	0,3	1,3	-	-85,0%	-35,0%

Οικισμός	Πληθυσμός	Συγκεντρώσεις (μg/m ³)				Ποσοστιαίες μεταβολές (%)		
		Αρχική μελέτη	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση
ΛΕΙΟΚΑΣΤΡΩΝ	46	2,6	0,6	0,4	1,8	-76,9%	-84,6%	-30,8%
ΚΡΟΚΟΣ	2946	33,4	13,1	5,7	28	-60,8%	-82,9%	-16,2%
ΤΣΟΤΙΛΙΟΝ	1596	2,2	0,5	0,4	1,5	-77,3%	-81,8%	-31,8%
ΜΕΣΙΑΝΗ	340	33	-	3,9	26,4	-	-88,2%	-20,0%
ΓΛΥΚΟΚΕΡΑΣΣΕΑ	68	2,1	-	0,3	1,4	-	-85,7%	-33,3%
ΟΜΑΛΗ	149	2	-	0,3	1,3	-	-85,0%	-35,0%
ΒΑΘΥΛΑΚΚΟΣ	652	29	-	3,6	24	-	-87,6%	-17,2%
ΑΝΘΟΥΣΑ	58	1,9	-	0,3	1,2	-	-84,2%	-36,8%
ΚΑΡΥΔΙΤΣΑ	953	28,6	11,8	4,4	22,5	-58,7%	-84,6%	-21,3%
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	441	7,5	2,7	1,1	5,8	-64,0%	-85,3%	-22,7%
ΠΑΝΑΡΕΤΗ	39	2,6	0,7	0,4	1,8	-73,1%	-84,6%	-30,8%
ΠΡΩΤΟΧΩΡΙΟΝ	626	17,4	8,3	2,6	13,7	-52,3%	-85,1%	-21,3%
ΝΕΡΑΙΔΑ	132	30,9	-	3,5	24,1	-	-88,7%	-22,0%
ΤΡΑΠΕΖΙΤΣΑ	169	2,7	0,8	0,4	1,9	-70,4%	-85,2%	-29,6%
ΑΜΥΓΔΑΛΕΑ	35	25,1	13,2	3,2	20,9	-47,4%	-87,3%	-16,7%
ΚΛΗΜΑ	100	2,4	0,7	0,4	1,7	-70,8%	-83,3%	-29,2%
ΑΥΓΕΡΙΝΟΣ	386	1,7	-	0,3	1,1	-	-82,4%	-35,3%
ΤΡΙΑΔΑ	16	1,8	-	0,3	1,2	-	-83,3%	-33,3%
ΑΝΘΟΧΩΡΙΟΝ	108	2,1	0,5	0,3	1,4	-76,2%	-85,7%	-33,3%
ΛΟΥΒΡΗ	42	1,9	-	0,3	1,3	-	-84,2%	-31,6%
ΑΝΑΤΟΛΗ	46	22,9	12,8	3,1	18,4	-44,1%	-86,5%	-19,7%
ΛΕΥΚΟΠΗΓΗ	1282	17,1	8,4	2,6	13,3	-50,9%	-84,8%	-22,2%
ΑΝΩ ΚΩΜΗ	1531	25,8	12	4,4	21	-53,5%	-82,9%	-18,6%
ΦΥΤΩΚΙΟΝ	74	2	0,5	0,3	1,3	-75,0%	-85,0%	-35,0%
ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	6	21,2	9,8	3,3	16,8	-53,8%	-84,4%	-20,8%

Οικισμός	Πληθυσμός	Συγκεντρώσεις (μg/m ³)				Ποσοστιαίες μεταβολές (%)		
		Αρχική μελέτη	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση
ΒΟΥΧΩΡΙΝΑ	79	1,8	-	0,3	1,2	-	-83,3%	-33,3%
ΣΤΑΥΡΩΤΗ	72	20,4	12	2,9	16,7	-41,2%	-85,8%	-18,1%
ΜΗΛΕΑ	229	24,1	11,2	3,9	19,3	-53,5%	-83,8%	-19,9%
ΚΡΙΜΗΝΙΩΝ	90	1,8	-	0,3	1,2	-	-83,3%	-33,3%
ΜΟΡΦΗ	97	1,6	-	0,2	1	-	-87,5%	-37,5%
ΚΟΝΤΟΒΟΥΝΙΟΝ	78	19,6	12,1	2,9	15,7	-38,3%	-85,2%	-19,9%
ΚΑΤΩ ΚΩΜΗ	348	22	11,4	3,8	17,7	-48,2%	-82,7%	-19,5%
ΡΟΔΟΧΩΡΙΟΝ	87	1,8	-	0,3	1,2	-	-83,3%	-33,3%
ΒΥΘΟΣ	184	1,5	-	0,2	0,9	-	-86,7%	-40,0%
ΑΓΙΑ ΣΩΤΗΡΑ	32	1,6	-	0,2	1	-	-87,5%	-37,5%
ΣΠΑΡΤΟΝ	175	19,1	11,9	3,1	15,5	-37,7%	-83,8%	-18,8%
ΠΑΛΑΙΟΚΑΣΤΡΟΝ	323	4,3	1,6	0,7	3,3	-62,8%	-83,7%	-23,3%
ΡΟΔΙΑΝΗ	358	16,2	8,5	2,4	12,6	-47,5%	-85,2%	-22,2%
ΚΡΑΝΙΔΙΑ	563	21,4	-	2,3	15,8	-	-89,3%	-26,2%
ΚΕΡΑΣΕΑ	192	20,9	10,1	3,2	16	-51,7%	-84,7%	-23,4%
ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ	633	1,4	-	0,2	0,9	-	-85,7%	-35,7%
ΚΟΡΥΦΗ	108	1,6	-	0,2	1	-	-87,5%	-37,5%
ΚΗΡΟΣ	155	19,1	10,9	3,3	15,4	-42,9%	-82,7%	-19,4%
ΔΑΦΝΕΡΟΝ	81	4	1,4	0,6	3	-65,0%	-85,0%	-25,0%
ΑΥΛΑΙ	394	18,7	-	2	13,6	-	-89,3%	-27,3%
ΚΤΕΝΙΟΝ	109	17,6	8,7	2,6	13,2	-50,6%	-85,2%	-25,0%
ΚΑΙΣΑΡΕΙΑ	192	17,1	9,3	2,8	13,3	-45,6%	-83,6%	-22,2%
ΧΡΥΣΑΥΓΗ	140	1,5	-	0,2	0,9	-	-86,7%	-40,0%
ΓΟΥΛΑΙ	226	14,7	-	1,9	11,4	-	-87,1%	-22,4%
ΑΙΑΝΗ	2074	17,8	8,8	2,9	13,8	-50,6%	-83,7%	-22,5%

Οικισμός	Πληθυσμός	Συγκεντρώσεις (μg/m ³)				Ποσοστιαίες μεταβολές (%)		
		Αρχική μελέτη	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση	Τοπογραφία	Ξηρή απόθεση	Υγρή απόθεση
ΠΡΟΣΗΛΙΟΝ	199	14,5	-	1,6	10,7	-	-89,0%	-26,2%
ΠΟΛΥΡΡΑΧΟΝ	201	13,9	-	1,5	10,1	-	-89,2%	-27,3%
ΧΡΩΜΙΟΝ	185	12,7	-	1,8	9,2	-	-85,8%	-27,6%
ΡΥΜΝΙΟΝ	221	13,8	-	2,3	10,6	-	-83,3%	-23,2%
ΤΡΙΓΩΝΙΚΟΝ	402	11,4	-	1,4	8,4	-	-87,7%	-26,3%
ΜΕΤΑΞΕΑΣ	410	10,7	-	1,1	7,3	-	-89,7%	-31,8%
ΜΙΚΡΟΒΑΛΤΟΝ	602	11,1	-	1,8	8,2	-	-83,8%	-26,1%
ΠΡΟΦ. ΗΛΙΑΣ	33	9,9	-	1,5	7,3	-	-84,8%	-26,3%
ΛΙΒΑΔΕΡΟΝ	1645	8,4	-	1	5,9	-	-88,1%	-29,8%
ΑΓΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ	359	2,2	0,7	0,3	1,5	-68,2%	-86,4%	-31,8%
ΑΚΡΙΝΗ	1128	40,3	-	9,6	41,5	-	-76,2%	3,0%
ΑΜΥΝΤΑΙΟΝ	3636	0	-	0	0	-	0,0%	0,0%
ΑΡΓΟΣ ΟΡΕΣΤΙΚΟΝ	7558	2,1	-	0,5	1,5	-	-76,2%	-28,6%
ΕΡΑΤΥΡΑ	1406	4,8	1,4	0,9	3,7	-70,8%	-81,3%	-22,9%
ΦΙΛΩΤΑΣ	1821	0,1	-	0	0,1	-	-100,0%	0,0%
ΦΛΩΡΙΝΑ	14279	0	-	0	0	-	0,0%	0,0%
ΓΑΛΑΤΙΝΗ	2092	4,6	1,3	0,8	3,6	-71,7%	-82,6%	-21,7%
ΓΡΕΒΕΝΑ	10177	2	-	0,3	1,3	-	-85,0%	-35,0%
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	14813	1,3	-	0,4	0,9	-	-69,2%	-30,8%
ΚΟΖΑΝΗ	35242	36,2	20	6,2	32	-44,8%	-82,9%	-11,6%
ΠΤΟΛΕΜΑΪΣ	28679	1	2,2	0,4	0,9	120,0%	-60,0%	-10,0%
ΠΥΡΓΟΙ	886	0	-	0	0	-	0,0%	0,0%
ΣΕΡΒΙΑ	3290	21,1	-	2,3	15,4	-	-89,1%	-27,0%
ΣΙΑΤΙΣΤΑ	5642	3,7	1,4	0,6	2,8	-62,2%	-83,8%	-24,3%