

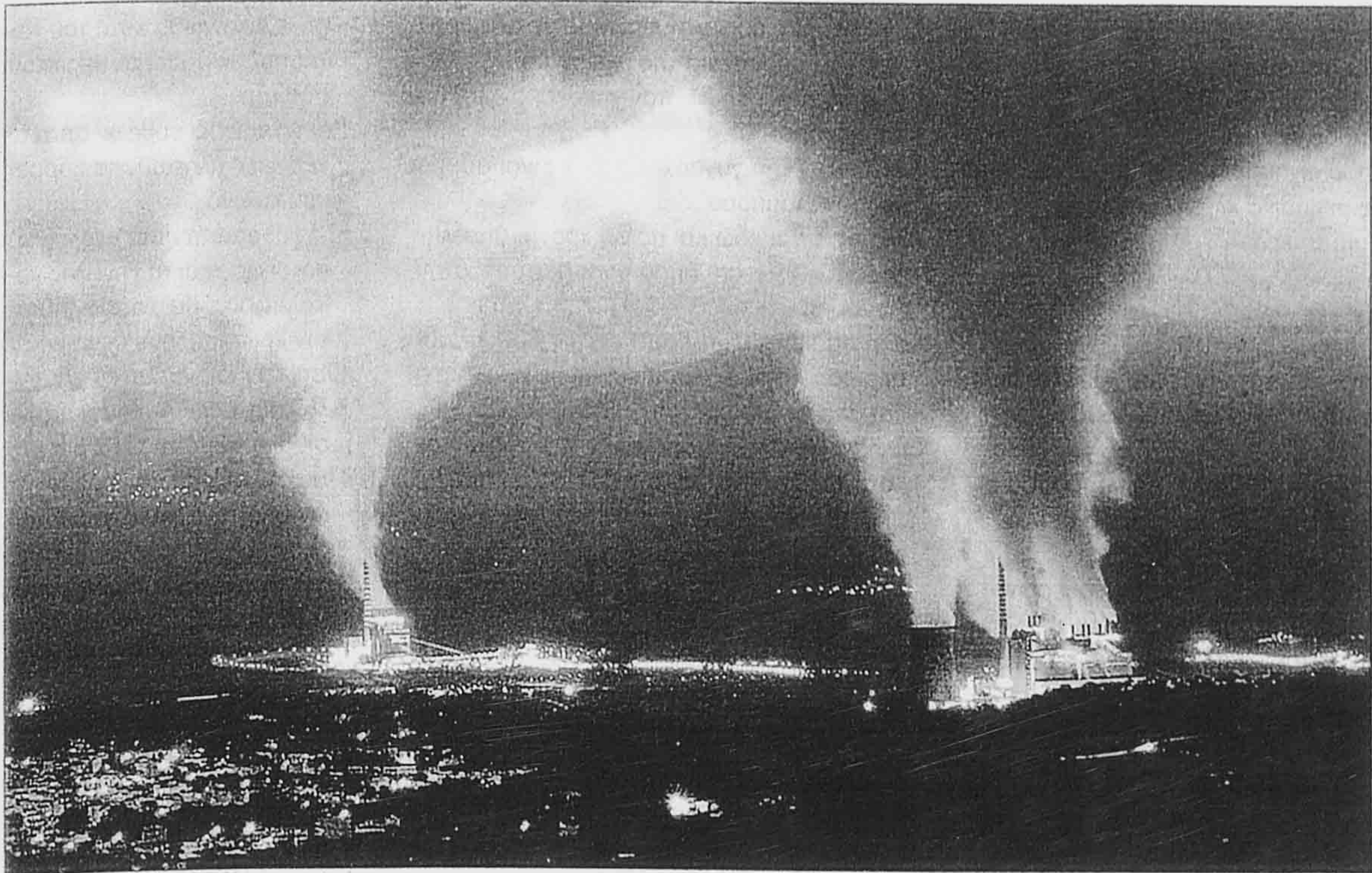
217
ΠΟΛ.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ
ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ



Εισηγητής: Αθαν. Γ. Παλιατσός

Σπουδαστής: Γρηγορίου Παναγιώτης

ΑΘΗΝΑ 2002

7

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί συμβολή στη μελέτη εύρεσης των τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) της ευρύτερης περιοχής Μεγαλόπολης - Αρκαδίας, για τη χρονική περίοδο 1997-2000. Μελετώνται οι τάσεις που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης στην υπό μελέτη περιοχή. Για τον υπολογισμό των τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης χρησιμοποιούνται συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου και των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής, της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ.

Η ανάθεση και η επίβλεψη της πτυχιακής εργασίας έγινε από τον Δρα Αθανάσιο Γ. Παλιατσό, καθηγητή του Τ.Ε.Ι. Πειραιά, τον οποίο και ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθειά του για την περάτωσή της.

Επίσης, από τη θέση αυτή επιθυμώ να ευχαριστήσω τον κ. Ι. Ευαγγέλου, της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ, για τα στοιχεία που έθεσε στη διάθεσή μου, καθώς και για τις χρήσιμες συμβουλές του.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας εξακολουθεί να καλύπτεται από τη χρήση πετρελαίου και λιγνίτη, αν και είναι γνωστό ότι αυτές οι συμβατικές μορφές ενέργειας συμμετέχουν με σημαντικό ποσοστό ευθύνης στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι ο ηλεκτροπαραγωγικός τομέας το έτος 1980 ήταν υπεύθυνος για το 66% των εκπομπών διοξειδίου του θείου στην Ελλάδα, λόγω της χρήσης κακής ποιότητας εγχώριου λιγνίτη (Πελεκάση και Σκούρτος, 1992). Οι περιπτώσεις λοιπόν όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιβαρύνει εμφανώς την ποιότητα της ατμόσφαιρας γύρω από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς (ΑΗΣ) είναι αυτές της Μεγαλόπολης και της Πτολεμαΐδας. Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι το 98% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, το έτος 1990, καλύφθηκε από τη χρήση λιγνίτη και πετρελαίου (Dalianis et al., 1997).

Σημαντικές λοιπόν επιπτώσεις στην ποιότητα του αέρα της περιοχής της Μεγαλόπολης προκαλούνται από τη λειτουργία των παρακείμενων τεσσάρων ατμοηλεκτρικών σταθμών της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Οι τέσσαρες αυτοί σταθμοί, συνολικής ισχύος 550 MW, βρίσκονται σε απόσταση 2.5 km από την πόλη της Μεγαλόπολης, χρησιμοποιούν δε ως καύσιμο λιγνίτη που εξορύσσεται σε διπλανά λιγνιτωρυχεία. Η ετήσια παραγωγή λιγνίτη είναι 8.000.000 τόνοι (Πελεκάση και Σκούρτος, 1992). Η λειτουργία δε αυτών των τεσσάρων λιγνιτικών σταθμών έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή από τη ΔΕΗ του 11.6 % περίπου της συνολικής παραγωγής της χώρας μας σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι εκπομπές από τη λειτουργία των ΑΗΣ, οι δραστηριότητες των υπαίθριων λιγνιτωρυχείων της περιοχής, άλλες σχετικές με την παραγωγή ενέργειας λειτουργίες όπως η διακίνηση της τέφρας και του λιγνίτη και η κυκλοφορία βαρέων οχημάτων, αποτελούν σημαντικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή.

Από τη λειτουργία των ΑΗΣ, από τις καμινάδες των σταθμών εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα οξείδια του αζώτου, διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια, οι δε εκπεμπόμενες ποσότητες είναι σημαντικές, συγκριτικά με το μέγεθος των μονάδων, όσον αφορά το διοξείδιο του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια. Η αιτία βρίσκεται στη δομή των ΑΗΣ και τα χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούμενου λιγνίτη. Έχει πολύ χαμηλή θερμογόνο

δύναμη (860-1060 kcal/kg), υψηλό ποσοστό υγρασίας (περίπου 60%) και υψηλή περιεκτικότητα σε θείο (1.5%) (Πελεκάση και Σκούρτος, 1992). Από την καύση του λιγνίτη παράγονται ετησίως 2500000 τόνοι διοξειδίου του θείου και η συνολική εκπομπή στερεών εκτιμάται σε 8500 kg/h. Το μεγαλύτερο ποσοστό του διοξειδίου του θείου (περίπου 80%), σε περίπτωση μη ύπαρξης μονάδας αποθείωσης, καταλήγει στην ατμόσφαιρα (Πελεκάση και Σκούρτος, 1992).

Η πτυχιακή αυτή εργασία αυτή αποτελεί συνεισφορά στην προσπάθεια αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην περιοχή της Μεγαλόπολης (Αρκαδίας), με τη χρήση περιβαλλοντικών δεικτών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου και των ολικών αιωρουμένων σωματιδίων. Συγκεκριμένα, από τα δεδομένα των μετρήσεων της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ για τη χρονική περίοδο 1997-2000, υπολογίζονται οι τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) και συγκρίνονται με τα όρια αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας από τη διεθνή βιβλιογραφία. Μελετώνται τέλος οι τάσεις που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές των ετήσιων ποσοστών εμφάνισης κάθε κατηγορίας ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα στην ευρύτερη περιοχή Μεγαλόπολης - Αρκαδίας.

2. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι τόσο παλιό, όσο και ο άνθρωπος. Από την εποχή των σπηλαίων αντιμετωπίστηκαν τα πρώτα προβλήματα ρύπανσης όταν η χρήση της φωτιάς δημιούργησε τις πρώτες ενοχλήσεις από καπνό και ίσως και δηλητηριάσεις από μονοξείδιο του άνθρακα.

Οι ιστορικοί αναφέρουν καύση αργού πετρελαίου στους περσικούς βωμούς από το 500 π.Χ., στα δε ποιήματά του ο Οράτιος, το 100 π.Χ., θρηνεί τους μαυρισμένους από καπνό ναούς της Ρώμης. Στην Κάτω Ιταλία, στην περιοχή της Συβάρης (κόλπος του Τάραντα), για τον περιορισμό του καπνού αναφέρεται ότι είχε απαγορευτεί επίσημα η λειτουργία καμινιών στο κέντρο της πόλης.

Στην Αγγλία, τον 13ο αιώνα τέθηκαν οι πρώτες διατάξεις ελέγχου του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (των συγκεντρώσεων του καπνού). Ιδιαίτερα αναφέρεται ότι το έτος

1306 απαγορεύθηκε η καύση λιθάνθρακα την ώρα που συνεδρίαζε η Βουλή. Αναφέρεται δε ότι ένα άτομο τιμωρήθηκε με απαγχονισμό για παράβαση του νόμου.

Το πρόβλημα της ρύπανσης από καπνό οξύνθηκε με την πάροδο του χρόνου και ιδιαίτερα κατά την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης, στα τέλη του 18ου αιώνα. Από παλιά είχαν καταβληθεί προσπάθειες για σύνδεση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με προβλήματα υγείας. Αποκορύφωση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (από υψηλές συγκεντρώσεις καπνού) οδήγησε στην αναμφισβήτητη παραδοχή ότι τα υψηλά επίπεδα ρύπανσης της ατμόσφαιρας έχουν επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία. Έτσι επεισόδια αιθαλομίχλης όπως της κοιλάδας του ποταμού Meuse του Βελγίου το 1930 (1-5/12/1930, 63 θάνατοι), της πόλης Donora της Πενσυλβανίας των ΗΠΑ το 1948 (26-31/10/1948, 20 θάνατοι), της πόλης Poza Rika στο Μεξικό το 1950 (24/11/1950, 22 θάνατοι) και το σοβαρότερο όλων του Λονδίνου το 1952. Το τελευταίο αυτό επεισόδιο που εκδηλώθηκε στο Λονδίνο κατά την περίοδο 5-9/12/1952, προκάλεσε το θάνατο 4000 ατόμων, όπως υπολογίστηκε από τους θανάτους που σημειώθηκαν πέραν του κανονικού για το μήνα αυτόν. Ανάλογο πρόβλημα εμφανίστηκε στη Νέα Υόρκη το Νοέμβριο του 1953, οπότε προκλήθηκε ο θάνατος 250 ατόμων. Τα δύο αυτά επεισόδια αιθαλομίχλης είχαν σαν αποτέλεσμα Αγγλία και Αμερική να θεσπίσουν νόμους για το αέριο περιβάλλον τους κατά τα έτη 1956 και 1955 αντίστοιχα. Παρά τη θέσπιση νόμων, τα "νέφη" συνέχισαν την καταστροφική τους πορεία για μεν το Λονδίνο τα έτη 1956 (1/1956, 1000 θάνατοι), 1957 (12/1957, 800 θάνατοι) και 1962 (12/1962, 700 θάνατοι), για δε τη Νέα Υόρκη τα έτη 1963 (1-2/1963, 400 θάνατοι) και 1966 (12/1966, 168 θάνατοι), περίοδο στην οποία αναφερόμαστε. Επειδή τα ίδια προβλήματα είχαν όλες οι ανεπτυγμένες βιομηχανικά περιοχές, αυτό οδήγησε σε θέσπιση διατάξεων για την καταπολέμηση των εκπομπών του καπνού και τη βελτίωση της τεχνολογίας της καύσης καυσίμων, με αποτέλεσμα βαθμιαία το πρόβλημα να τεθεί υπό έλεγχο.

Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, η αύξηση του πληθυσμού, η συγκέντρωση στα αστικά κέντρα, οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε αγαθά, η ανάπτυξη της βιομηχανίας, η απρόσεκτη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας και γενικά η αξιολόγηση όλων των παραμέτρων μόνο με οικονομικά μεγέθη, χωρίς να γίνεται ταυτόχρονη συνεκτίμηση των συνεπειών τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ποιότητα ζωής, είχαν σαν αποτέλεσμα τη ραγδαία άνοδο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που από περιορισμένο τοπικό πρόβλημα, έγινε ευρύτερα σοβαρό ζήτημα, με τάση να καταστεί παγκόσμιο και να επηρεάσει όλη τη γη.

Σχεδόν μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του '70 η φόρτιση της ατμόσφαιρας, σε αστικές κυρίως περιοχές όπου υπήρχαν αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου, καθιέρωσε το διοξείδιο του θείου σαν δείκτη συνολικού φόρτου της αέριας ρύπανσης μιας περιοχής και η μέτρησή του είναι επιβεβλημένη για τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα των αστικών περιοχών. Με την πάροδο όμως του χρόνου ο άνθρακας αντικαταστάθηκε από το πετρέλαιο, αλλά η ποιότητα του αέρα λόγω της συνεχώς αυξανόμενης κατανάλωσής του μεταβλήθηκε προς το χειρότερο.

Ένας νέος τύπος ρύπανσης του αέρα άρχισε να εμφανίζεται. Αντί λοιπόν του καπνού, της αιθάλης, της τέφρας και του διοξειδίου του θείου, εμφανίζονται νέοι ρύποι, δευτερογενείς, όπως το όζον. Ο νέος τύπος ρύπανσης, γνωστός σαν φωτοχημική ρύπανση αποτελεί πρόβλημα δυσχερέστερο από το προηγούμενο διότι αντιμετωπίζεται δυσκολότερα. Η φωτοχημική ρύπανση εμφανίστηκε στο Los Angeles (Αμερική), στις αρχές του 1940 και βαθμιαία επιδεινώθηκε παρά τις προσπάθειες ελέγχου. Στο πρόβλημα της φωτοχημικής αιθαλομίχλης, σημαντικό ρόλο στη δημιουργία διαδραματίζει η παρουσία των NO - NO_2 - O_3 και οι χημικές αντιδράσεις με υδρογονάνθρακες. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί μέσα στην ατμόσφαιρα υφίστανται χημικές και φωτοχημικές αντιδράσεις, με αποτέλεσμα οι νέες ενώσεις που παράγονται και ονομάζονται φωτοχημικά οξειδωτικά να είναι δραστικές. Ειδικά δε η οξείδωση των υδρογονανθράκων παράγει μεγάλη ποικιλία ενώσεων που σχηματίζουν αεροζόλ και ενώσεις που ερεθίζουν τα μάτια. Ένα τυπικό παράδειγμα τέτοιου υδρογονάνθρακα που αποτελεί "συστατικό" της φωτοχημικής αιθαλομίχλης είναι το PAN (Νιτρικό Υπεροξυακετύλιο) που είναι φωτοχημικό οξειδωτικό και προκαλεί αφενός μεν ερεθισμό των ματιών και του αναπνευστικού συστήματος των ανθρώπων, ακόμη δε μεταβολή του ρυθμού των καρδιακών παλμών, αφετέρου δε καταστροφή των φύλλων νεαρών φυτών. Γενικά, επειδή τα φυτά είναι αρκετά ευαίσθητα στο PAN και το O_3 , είναι δυνατό να χρησιμεύουν σαν δείκτες φωτοχημικής ρύπανσης μιας περιοχής, μετά από παρατήρηση των εμφανιζόμενων "τραυμάτων" πάνω στα φύλλα τους.

Για τη σωστότερη αποτίμηση της ποιότητας του αέρα σε αστική περιοχή έχει εισαχθεί η χρήση περιβαλλοντικών δεικτών (Thom et al., 1976; Boubel et al., 1994) που για τον υπολογισμό των τιμών τους χρησιμοποιούνται οι συγκεντρώσεις όλων σχεδόν των ατμοσφαιρικών ρύπων (NO_2 , SO_2 και O_3).

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται συχνά υπερβάσεις των ορίων ποιότητας της ατμόσφαιρας, όπως αυτά έχουν καθοριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ). Αυτή λοιπόν η συχνή εμφάνιση τέτοιων υπερβάσεων, έχει σαν αποτέλεσμα την επιδείνωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας αστικών περιοχών (Singapore Meteorological Service, 1995; Παλιατσός κ.ά., 2001, 2002; Paliatsos et al. 2002; Triantafyllou et al., 2002, Τριανταφύλλου κ.ά., 2002), γεγονός που συνδέεται άμεσα με την υγεία των κατοίκων αυτών των περιοχών (Katsouyanni et al., 1993).

Από μελέτες που ήδη έχουν πραγματοποιηθεί έχει διαπιστωθεί ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας εξαρτάται τόσο από τις κατά τόπους επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες (Singapore Meteorological Service, 1995), όσο και από τις ιδιαιτερότητες των υπό μελέτη περιοχών (Παλιατσός κ.ά., 2001, 2002; Paliatsos et al. 2002; Triantafyllou et al., 2002; Τριανταφύλλου κ.ά., 2002).

Είναι γνωστό ότι χρησιμοποιούνται διάφορα κριτήρια για την αποτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας σε ρυθασμένες περιοχές. Λόγω της ανομοιομορφίας των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων, σε παγκόσμια κλίμακα, έχουν εισαχθεί διάφοροι περιβαλλοντικοί δείκτες, των οποίων η χρήση καθιστά δυνατή την αποτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας μιας περιοχής. Ένας περιβαλλοντικός δείκτης είναι μια αριθμητική ή περιγραφική κατηγοριοποίηση μεγάλου αριθμού περιβαλλοντικών παραμέτρων, με αντικειμενικό σκοπό την παροχή δυνατότητας για εξαγωγή πληροφοριών που μπορούν να καταστούν χρήσιμες στους σχετιζόμενους με την αξιολόγηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας και τη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων. Επίσης, οι περιβαλλοντικοί δείκτες παρέχουν τη δυνατότητα καλύτερης αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας, δημιουργώντας παράλληλα δίκτυο ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης πληροφοριών και επιστημονικής τους ανάλυσης (Canter, 1997; Thom et al., 1976; Tunstall, 1979; Washington, 1984).

Ένας περιβαλλοντικός δείκτης, κατάλληλος για την εκτίμηση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα μιας περιοχής, είναι ο πρότυπος δείκτης ρύπανσης (PSI) που προτάθηκε από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (U.S. Environmental Protection Agency και για συντομία EPA), περίπου στα μέσα της δεκαετίας του '70 (Ott et al., 1976; Thom et al., 1976), με αντικειμενικό σκοπό την τυποποίηση των εκθέσεων που αναφέρονταν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Επίσης, η χρησιμοποίηση αυτού του δείκτη αποβλέπει στη διευκόλυνση των συγκρίσεων που σχετίζονται με την ποιότητα της ατμόσφαιρας διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών. Ο δείκτης PSI είναι σύνθετος δείκτης που υπολογίζεται από τις συγκεντρώσεις όζοντος, διοξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα και αιωρουμένων σωματιδίων. Ο δείκτης PSI μετατρέπει τις συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων σε απλές αριθμητικές τιμές που κυμαίνονται από 0 μέχρι 500 και αυτές με τη σειρά τους αντιστοιχίζονται σε κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας (Πίνακας 1). Οπότε οι τιμές του δείκτη PSI καθορίζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας σύμφωνα με σχετικό πίνακα αποτίμησης (Boubel et al., 1994).

Πίνακας 1. Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη PSI (Boubel et al., 1994).

PSI	Κατηγορία ποιότητας αέρα
0 - 50	Καλή
51 - 100	Μέτρια
101 - 200	Ανθυγιεινή
201 - 300	Πολύ Ανθυγιεινή
> 300	Επικίνδυνη

Υπάρχουν έξι επιμέρους δείκτες που καθορίζουν την τιμή του δείκτη PSI, με βάση τη σχέση

$$PSI = \max(I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6) \quad (1)$$

όπου I_1 είναι ο επιμέρους δείκτης οι τιμές του οποίου καθορίζονται από τις συγκεντρώσεις των αιωρουμένων σωματιδίων, του I_2 από τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου, του I_3 από τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου, του I_4 από τις συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα, του I_5 από τις συγκεντρώσεις του όζοντος και τέλος του I_6 από το γινόμενο των συγκεντρώσεων των αιωρουμένων σωματιδίων και διοξειδίου του θείου. Οι τιμές κάθε επιμέρους δείκτη κυμαίνονται μεταξύ 0 και 500, όπου η τιμή 500 αντιστοιχεί σε γεγονότα πολύ

επιβλαβή για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Οι τιμές των επιμέρους δεικτών και οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις των ρύπων που τις διαμορφώνουν, εμφανίζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη PSI (Boubel et al., 1994).

I	TSP 24 hr μgr/m ³	SO ₂ 24 hr μgr/m ³	TSP* SO ₂ (μgr/m ³) ²	CO 8 hr mgr/m ³	O ₃ 1 hr μgr/m ³	NO ₂ 1 hr μgr/m ³
0	0	0	-	0	0	-
50	75	80	-	5	118	-
100	260	365	-	10	235	-
200	375	800	65000	17	400	1130
300	625	1600	261000	34	800	2260
400	875	2100	393000	46	1000	3000
500	1000	2620	490000	57.5	1200	3750

Η κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας (Πίνακας 1) συνδέεται με επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων της περιοχής. Στη διεθνή βιβλιογραφία εμφανίζονται, σε σχέση με την τιμή του δείκτη PSI (Πίνακας 3), οι πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής (Boubel et al., 1994).

Στη μελέτη αυτή, ο υπολογισμός της τιμής του περιβαλλοντικού δείκτη PSI γίνεται με τον υπολογισμό των τιμών του επιμέρους δείκτη I_i που προσδιορίζεται από τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων (Πίνακας 2). Από τις τιμές της 2^{ης} στήλης του Πίνακα 2 διαπιστώνεται ότι ο επιμέρους δείκτης I_i εκφράζεται από μια συνεχή και κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων. Με βάση την κατά τμήματα παρατηρούμενη γραμμικότητα, καθορίζεται η συνάρτηση υπολογισμού των τιμών του επιμέρους δείκτη I_i που αντιστοιχεί στις 24ωρες συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων με τη βοήθεια κατάλληλης μεθόδου παρεμβολής (παρεμβολή με συναρτήσεις splines), που είναι:

$$I_i = \frac{I_{i+1} - I_i}{C_{i+1} - C_i} (C - C_i) + I_i \quad (2)$$

όπου I_i με $i=0(1)6$ είναι οι τιμές του επιμέρους δείκτη I_1 και C_i με $i=0(1)6$ είναι οι αντίστοιχες 24ωρες τιμές της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων, όπως εμφανίζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 3. Κλίμακα συσχέτισης της ποιότητας του αέρα με πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής (Boubel et al., 1994).

PSI	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Πιθανές επιπτώσεις στην υγεία
0 - 50	Καλή	Καμία για το συνολικό πληθυσμό
51 - 100	Μέτρια	Μερικές ή και καμία για το συνολικό πληθυσμό
101 - 200	Ανθυγιεινή	Ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού, με συμπτώματα ερεθισμού της υγείας του πληθυσμού
201 - 300	Πολύ Ανθυγιεινή	Σημαντική επιδείνωση των συμπτωμάτων και μειωμένη αντοχή σε άτομα με καρδιακά ή αναπνευστικά προβλήματα. Εκτεταμένα συμπτώματα στην υγεία του πληθυσμού
> 300	Επικίνδυνη	Πρώιμη εμφάνιση ορισμένων ασθενειών με σημαντική αύξηση της επιδείνωσης των συμπτωμάτων και μείωση της αντοχής στην υγεία των ανθρώπων. Σε περιπτώσεις που $PSI > 400$, τότε ενδέχεται να προκληθούν πρόωροι θάνατοι από ασθένειες καθώς και ηλικιωμένων ατόμων

Στη μελέτη αυτή, ο υπολογισμός της τιμής του περιβαλλοντικού δείκτη PSI γίνεται με τον υπολογισμό των τιμών των επιμέρους δεικτών I_1 και I_2 που προσδιορίζονται από τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων και του διοξειδίου του θείου (Πίνακας 2). Από τις τιμές της 2^{ης} και της 3^{ης} στήλης του Πίνακα 2 διαπιστώνεται ότι οι επιμέρους δείκτες I_1 και I_2 που εκφράζονται από συνεχείς και κατά τμήματα γραμμικές συναρτήσεις των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων και του διοξειδίου του θείου. Με βάση την κατά τμήματα παρατηρούμενη γραμμικότητα (Ott et al., 1976; Thom et al., 1976), καθορίζονται οι συναρτήσεις υπολογισμού των τιμών των επιμέρους δεικτών I_1 και I_2 που αντιστοιχούν στις ημερήσιες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων και του διοξειδίου του θείου με τη βοήθεια κατάλληλης μεθόδου παρεμβολής (παρεμβολή με συναρτήσεις splines).

Στη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, 1997-2000, στην περιοχή της Μεγαλόπολης παρατηρούνται συχνά υπερβάσεις των ορίων ποιότητας της ατμόσφαιρας, όπως αυτά έχουν καθοριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ). Αυτή λοιπόν η συχνή εμφάνιση τέτοιων υπερβάσεων, έχει σαν αποτέλεσμα την επιδείνωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, γεγονός το οποίο συνδέεται άμεσα με την υγεία των κατοίκων της περιοχής (Katsouyanni et al., 1993).

Σύμφωνα δε με έρευνα που πραγματοποιήθηκε από 07.12.1987 μέχρι 07.01.1988 (Πελεκάση και Σκούρτος, 1992), προκειμένου να διερευνηθούν οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία των εργαζόμενων της ΔΕΗ στη Μεγαλόπολη, διαπιστώθηκε ότι ποσοστό 36.7% των εργαζόμενων που επισκεύθηκε το γιατρό της ΔΕΗ βρέθηκε να πάσχει από λοιμώξεις του αναπνευστικού (ποσοστό 100% υψηλότερο από αυτό που συνιστά ο ΠΟΥ).

Η αντιμετώπιση των επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης που εμφανίζονται σε αυτήν την περιοχή είναι αρκετά δύσκολο έργο. Λόγω της σοβαρότητας των επιπτώσεων που προκαλούνται στην υγεία των κατοίκων της περιοχής όπου σημειώνονται υπερβάσεις των ορίων ποιότητας της ατμόσφαιρας όσον αφορά το διοξείδιο του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια, εξετάζουμε διεξοδικά αυτούς τους δύο ρύπους.

3.1. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

Η φόρτιση της ατμόσφαιρας, σε αστικές κυρίως περιοχές, με αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου το καθιέρωσαν σαν δείκτη συνολικού φόρτου της αέριας ρύπανσης μιας περιοχής και η μέτρησή του είναι επιβεβλημένη για τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα των αστικών περιοχών. Σχηματίζεται βασικά, από ανθρώπινες δραστηριότητες που αφορούν κυρίως την καύση στερεών και υγρών καυσίμων που περιέχουν θείο, αλλά και από ορισμένες βιομηχανικές δραστηριότητες που είναι της τάξης των $200 \cdot 10^6$ τόνων/έτος. Υπολογίζεται ότι το έτος 2000 η παραγωγή αυτή θα ξεπεράσει τους $300 \cdot 10^6$ τόνους/έτος που είναι η ανά έτος εκλυόμενη ποσότητα SO_2 από τη φύση (ηφαίστεια και οξείδωση του H_2S).

Η αύξηση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου είναι αποτέλεσμα του γρήγορου ρυθμού βιομηχανικής ανάπτυξης που παρατηρήθηκε τις τελευταίες δεκαετίες σε παγκόσμια κλίμακα. Η κατανάλωση τεράστιων ποσοτήτων πετρελαίου με μεγάλη περιεκτικότητα σε θείο και η καύση του άνθρακα σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές είχε σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση σοβαρών επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο τύπος αυτός της ρύπανσης είναι γνωστός με το όνομα αιθαλομίχλη (smog) και το πιο πιθανό είναι η ονομασία αυτή να προήλθε από το Λονδίνο, για να περιγράψει το μίγμα της βιομηχανικής αιθάλης (κάπνας) και της φυσικής ομίχλης (SMO-ke + fo-G). Ο κυριότερος ρύπος στα επεισόδια αυτά είναι το SO₂.

Οι μακροχρόνιες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από SO₂, στον ανθρώπινο οργανισμό, είναι σημαντικές. Το SO₂ προσβάλλει το αναπνευστικό σύστημα και ιδιαίτερα των ατόμων εκείνων που έχουν αναπνευστικά προ-βλήματα και υποφέρουν ιδιαίτερα όταν βρεθούν σε περιβάλλον με υψηλές συγκεντρώσεις SO₂. Η επίδραση της συγκέντρωσης του SO₂ στον άνθρωπο φαίνεται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Επιδράσεις του διοξειδίου του θείου στην υγεία των ανθρώπων (Βασιλικιώτης, 1981).

SO ₂ (ppm)	ΕΜΦΑΝΙΖΟΜΕΝΑ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΣΕ ΑΤΟΜΑ
3-5	Αντιληπτή η οσμή του
8-12	Ερεθισμός του φάρυγγα
20	Ερεθισμός οφθαλμών, βήχας
50-100	Μέγιστη διάρκεια παραμονής 30'
400-500	Επικίνδυνη έστω και βραχεία έκθεση

Έτσι αναφέρονται περιπτώσεις που οι μετεωρολογικές συνθήκες (χαμηλές θερμοκρασιακές αναστροφές με μικρό ύψος ανάμιξης των αέριων ρύπων, μεγάλη σχετική υγρασία και χαμηλές θερμοκρασίες και ταχύτητες ανέμου) ευνόησαν την εμφάνιση των γκριζόμαυρων νεφών αιθαλομίχλης που απλώνονται πάνω από αστικά κέντρα με ολέθρια αποτελέσματα. Η πιο παλιά σοβαρή περίπτωση είναι αυτή που σημειώθηκε στην κοιλάδα Meuse River Valley του Βελγίου στις 1-5/12/1930, όπου λόγω δυσμενών μετεωρολογικών συνθηκών (θερμοκρασιακής αναστροφής) σημειώθηκε "παγίδευση" ρύπων από την καύση ανθράκων και προκλήθηκε ο θάνατος 63 ατόμων επιπλέον και πολλών ζώων. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε στις 26-31/10/1948 στη Donora της Πενσυλβανίας (ΗΠΑ) όπου το 40% του πληθυσμού της περιοχής

είχε αναπνευστικά προβλήματα και προκλήθηκε ο θάνατος 20 ατόμων επιπλέον. Στις 24/11/1950 στην Poca Rica του Μεξικού σημειώθηκε επεισόδιο αιθαλομίχλης, με επιπτώσεις το θάνατο 22 ατόμων επιπλέον και την εισαγωγή σε νοσοκομεία 320 ατόμων από διάφορες ηλικίες με αναπνευστικά προβλήματα. Το χειρότερο όμως από όλα τα επεισόδια παρατηρήθηκε κατά τη χρονική περίοδο 5-9/12/1952 στο Λονδίνο, στη διάρκεια δε των 5 αυτών ημερών η κατάσταση ήταν τραγική από την άποψη της συσσώρευσης αερολυμάτων, με επακόλουθο να σημειωθούν 4000 επιπλέον θάνατοι το μήνα εκείνο. Οι περισσότεροι από τους νεκρούς ήταν βρέφη ή υπερήλικες και είχαν αναπνευστικά προβλήματα. Ακολούθησαν και άλλα τέτοια επεισόδια τόσο στο Λονδίνο (12/1962, επιπλέον θάνατοι), όσο και στη Νέα Υόρκη (11/1953 και 30/6/1966 με 200 και 168 επιπλέον θανάτους αντίστοιχα).

Τα φυτά είναι και αυτά θύματα της ρύπανσης από το SO_2 , διότι το απορροφούν απ' ευθείας οι φυτικές επιφάνειες. Σε περιοχές στις οποίες η μέση συγκέντρωση του SO_2 ξεπερνά τα 0.021 ppm (= 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), είναι δυνατόν να εμφανισθούν συμπτώματα υπανάπτυξης ή ακόμη και νέκρωσης σε ορισμένα φυτά. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι η μηλιά, η αχλαδιά και το πεύκο, όταν στις περιοχές που βρίσκονται η συγκέντρωση του SO_2 φθάσει τα 0.5 ppm (= 1310 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), και παραμείνει στην τιμή αυτή για 5-6 ώρες, τότε αρχίζουν να εμφανίζονται τα πρώτα συμπτώματα δηλητηρίασής τους.

Η επίδραση του SO_2 σε διάφορα υλικά έχει δυσμενή αποτελέσματα, όπως: την αύξηση του χρόνου ξήρανσης των ελαιοχρωμάτων κατά 50-100%, την αύξηση της διάβρωσης των μετάλλων (σίδηρος, χάλυβας, ψευδάργυρος), τη μείωση της ανθεκτικότητας και τον αποχρωματισμό υλικών όπως το μαλλί, το βαμβάκι, το χαρτί και το δέρμα και τέλος την αύξηση της διάβρωσης οικοδομικών υλικών.

Η οξείδωση του SO_2 και των NO_x έχει για συνέπεια τη μετατροπή τους σε θειικό οξύ και νιτρικό οξύ αντίστοιχα τα οποία πέφτουν με τη βροχή (όξινη βροχή). Η όξινη βροχή είναι μία από τις πιο σημαντικές οικολογικές επιπτώσεις του SO_2 και είναι υπεύθυνη, στις αστικές περιοχές, για την καταστροφή των μαρμάρινων και λοιπών μνημείων καθώς και των κτιρίων. Το πρόβλημα αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας, που είναι μία χώρα με τόσο πλούσια κληρονομιά σε τέτοια μνημεία. Στις αγροτικές περιοχές, η όξινη βροχή προκαλεί τη μεταβολή της τιμής του pH των λιμνών και ποταμών (δηλαδή το κάνει πιο όξινο) με επιπτώσεις, τη μείωση του πληθυσμού των ψαριών και των μικροοργανισμών που ζουν στις

λίμνες και τα ποτάμια. Η όξινη βροχή αλλοιώνει την ποιοτική σύσταση των εδαφών και προκαλεί καταστροφές στα δάση (π.χ. το 50% των δασών της πρώην Δ. Γερμανίας έχουν υποστεί βλάβες) και τις αγροτικές καλλιέργειες, επιβραδύνει δε την ανάπτυξη των φυτών ελαττώνοντας το ρυθμό αποσύνθεσης και διανταλλαγής θρεπτικών συστατικών μεταξύ εδάφους και φυτών.

Το SO_2 εκτός από την τροπόσφαιρα μπορεί να προκαλέσει μεταβολές και στη στρατόσφαιρα, άρα και στο κλίμα της Γης. Οι αυξημένες ποσότητες του SO_2 που φθάνουν στη στρατόσφαιρα προέρχονται, είτε από εκρήξεις ηφαιστειών, είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και προκαλούν την αύξηση του στρώματος των σωματιδίων της στρατόσφαιρας, με συνέπεια την αύξηση του ποσοστού της απορροφούμενης ακτινοβολίας στην στρατόσφαιρα. Σαν αποτέλεσμα έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας της στρατόσφαιρας και μείωση της ολικής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης.

Χαρακτηριστικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι κατά την έκρηξη του ηφαιστείου Pinatubo (12-16/6/1991), στο νησί Λουσόν των Φιλιππίνων, η συνολικά εκτοξευθείσα ποσότητα διοξειδίου του θείου έφτασε τους 18.000.000 τόνους και ανήλθε μέχρι τη στρατόσφαιρα.

3.2 ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ

Η ατμόσφαιρα είναι ένα κολλοειδές σύστημα αποτελούμενο από N_2 , O_2 , ευγενή αέρια, CO_2 , υδρατμούς, ίχνη αερίων και αιωρούμενη ύλη. Με τον όρο "αιωρούμενα σωματίδια" εννοούμε τα στερεά σωματίδια και σταγονίδια με διάμετρο 0.002-200 μm που βρίσκονται σε διασπορά στην αέρια φάση. Η σκόνη του εδάφους, τα σταγονίδια της θάλασσας, ο καπνός, η ομίχλη, η κάπνα, η ιπτάμενη τέφρα, κ.ά. είναι διάφορες κατηγορίες αιωρούμενων σωματιδίων. Τα σωματίδια κολλοειδών διαστάσεων ονομάζονται και αεροζόλ.

Η ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται από σημαντικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στην αέρια και τη σωματιδιακή φάση. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές εξαρτώνται από τις φυσικές ιδιότητες και τη χημική δραστηριότητα των συστατικών κάθε φάσης. Η παρουσία των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα οφείλεται σε φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές (ωκεανοί, έδαφος, ηφαιστεια,

φυσικές πυρκαγιές), σε τοπική όμως κλίμακα υπερτερούν οι εκπομπές από ανθρωπογενείς πηγές (βιομηχανία, θέρμανση, κυκλοφορία). Οι διεργασίες που προκαλούν την εκπομπή σωματιδίων είναι η καύση, η τριβή, η διάβρωση και ο κατακερματισμός των υλικών.

Εκτός από τα εκπεμπόμενα πρωτογενή σωματίδια, στην ατμόσφαιρα σχηματίζονται και δευτερογενή σωματίδια σαν αποτέλεσμα διαφόρων αντιδράσεων. Οι μηχανισμοί που οδηγούν στο σχηματισμό δευτερογενών σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι, κυρίως, η πυρήνωση και η συμπύκνωση υπέρκορων ατμών. Τα σωματίδια που σχηματίζονται κατ' αυτό τον τρόπο έχουν πολύ μικρό μέγεθος (η διάμετρός τους κυμαίνεται από 0.005 μέχρι 0.1 μm). Τα σωματίδια αυτά, που ονομάζονται και πυρήνες Aitken, συσσωματώνονται στη συνέχεια προς μεγαλύτερα σωματίδια με διάμετρο 0.1-2.5 μm .

Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων εκφράζεται, κατά κανόνα, από τη διάμετρό τους. Επειδή, όμως, τα σωματίδια διαφέρουν μεταξύ τους και ως προς το σχήμα και ως προς την πυκνότητά τους, για την ομοιόμορφη έκφραση του μεγέθους τους χρησιμοποιείται, συνήθως ο όρος ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος. Ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος, ενός μη σφαιρικού σωματιδίου με πυκνότητα διαφορετική από 1 gr/cm^3 είναι η διάμετρος μιας σφαίρας με πυκνότητα ίση με τη μονάδα που έχει την ίδια ταχύτητα πτώσης στον αέρα με το σωματίδιο. Η αεροδυναμική διάμετρος είναι πολύ χρήσιμη παράμετρος, επειδή σχετίζεται με το χρόνο παραμονής των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, καθώς και με την απόθεσή τους στο αναπνευστικό σύστημα.

Το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων καθορίζει την κατανομή τόσο του αριθμού, όσο και της επιφάνειας καθώς και της μάζας τους. Γενικά, ο μεγαλύτερος αριθμός σωματιδίων βρίσκεται σε μικρά μεγέθη ($d < 0.1 \mu\text{m}$) και μειώνεται σημαντικά σε μεγαλύτερες διαμέτρους. Αντίθετα, το μεγαλύτερο μέρος της μάζας των σωματιδίων βρίσκεται στην περιοχή 0.1-1 μm .

Διακρίνονται τρεις περιοχές κατανομής:

- Περιοχή πυρήνωσης: αποτελείται από σωματίδια με διάμετρο $d < 0.2 \mu\text{m}$, που σχηματίζονται από συμπύκνωση θερμών ατμών ή διάχυση ατμών σε προϋπάρχοντα σωματίδια.
- Περιοχή συσσώρευσης: αποτελείται από σωματίδια με διάμετρο 0.2-2.5 μm που σχηματίζονται από τα σωματίδια της περιοχής πυρήνωσης με συσσωμάτωση ή

συμπύκνωση ατμών. Τα σωματίδια των περιοχών πυρήνωσης και συσσωμάτωσης ($d < 2.5$ μm) ονομάζονται και μικρά σωματίδια.

- Περιοχή μεγάλων σωματιδίων: αποτελείται από σωματίδια με $d > 2.5$ μm που σχηματίζονται από διάφορες μηχανικές δράσεις.

Διάφοροι άλλοι όροι χρησιμοποιούνται επίσης για την ταξινόμηση της αιωρούμενης ατμοσφαιρικής ύλης όπως τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια (TSP), εισπνεύσιμα και αναπνεύσιμα σωματίδια, ο μαύρος καπνός κ.ά.

Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλλει σημαντικά και, γενικά, αντανakλά την πηγή από την οποία προέρχονται. Στην πραγματικότητα, όμως, η χημική σύσταση αλλοιώνεται από αλληλεπίδραση των σωματιδίων μεταξύ τους ή με αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας.

Γενικά τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούνται από μία ανόργανη φάση (στέρεο ανόργανο υλικό, υδατοδιαλυτά ανόργανα άλατα, στοιχειακός άνθρακας, κ.ά.) και μία οργανική φάση (οργανικός άνθρακας). Η σχετική συνεισφορά οργανικού και ανόργανου υλικού στη συνολική μάζα των αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως την προέλευσή τους, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και το μέγεθος τους. Έτσι, σε ρυπασμένες αστικές περιοχές, τα μικρά σωματίδια μπορεί να περιέχουν μέχρι 40% άνθρακα, ενώ τα μεγάλα είναι, κυρίως, ανόργανα (πυριτικά άλατα, εδαφικής προέλευσης ενώσεις του Al και του Ca, κ.ά.). Τέλος, τα θαλάσσια αεροζόλ είναι υδατικά διαλύματα NaCl και $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Οι χημικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων ποικίλλουν ανάλογα με τη σύστασή τους.

Οι περισσότερες από τις φυσικές ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων (π.χ. όγκος, επιφάνεια, ταχύτητα πτώσης, διάχυση Brown, κ.ά.) αποτελούν συνάρτηση του μεγέθους τους.

Ταχύτητα πτώσης. Τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο $d \geq 10 \mu\text{m}$ έχουν σημαντική ταχύτητα πτώσης σε σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Τα σωματίδια αυτά αποτελούν ένα ξεχωριστό κλάσμα που ονομάζεται πίπτουσα σκόνη ή ξηρή απόθεση. Τα σωματίδια με διάμετρο $d < 10 \mu\text{m}$ έχουν πολύ μικρή ταχύτητα πτώσης με αποτέλεσμα να παραμένουν σε αιώρηση στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Προσρόφηση. Η σωματιδιακή ύλη που αιωρείται στην ατμόσφαιρα έχει πολύ μεγάλη ενεργό επιφάνεια ανά μονάδα μάζας, εξαιτίας του μικρού μεγέθους της πλειονότητας των σωματιδίων. Η τόσο μεγάλη επιφάνεια ευνοεί την προσρόφηση μορίων από την αέρια φάση, ιδιαίτερα για συστατικά με χαμηλή πτητικότητα. Γενικά, μία ουσία με τάση ατμών <0.1 mmHg στους 25°C προσροφάται ισχυρά στα ατμοσφαιρικά σωματίδια. Αυτό σημαίνει ότι, και τα μέταλλα που εξατμίζονται από ηφαιστειακές ή βιολογικές διεργασίες καταλήγουν σε αεροζόλ. Επίσης ημιπτητικές οργανικές ενώσεις (πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, οργανοχλωριωμένες ενώσεις κ.ά.) προσροφώνται σε μεγάλο βαθμό στα αιωρούμενα σωματίδια. Η προσρόφηση τοξικών ουσιών στα αιωρούμενα σωματίδια αυξάνει την επικινδυνότητά τους.

Οπτική συμπεριφορά. Τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας αποτελούν την κύρια αιτία μείωσης της ορατότητας σε πολλές περιοχές. Όταν το φως προσπίπτει στα σωματίδια, συμβαίνουν δύο διαφορετικά φαινόμενα: σκέδαση, δηλαδή επανεκπομπή του φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις και απορρόφηση με μετατροπή της απορροφούμενης ενέργειας σε θερμότητα ή χημική ενέργεια. Η σκέδαση και η απορρόφηση φωτός από ένα μέσο εκφράζεται από το δείκτη διάθλασης.

Τόσο η σκέδαση, όσο και η απορρόφηση του φωτός είναι συναρτήσεις της σύστασης, της συγκέντρωσης και του μεγέθους των σωματιδίων. Η μεγαλύτερη μείωση της ορατότητας οφείλεται στη σκέδαση του φωτός από σωματίδια με μέγεθος στην περιοχή του ορατού φωτός (400-800 nm).

Μηχανισμοί απομάκρυνσης. Τα αιωρούμενα σωματίδια υπόκεινται σε ένα πλήθος διεργασιών στην ατμόσφαιρα.

- Τα μικρά σωματίδια ($d < 0.1 \mu\text{m}$) υπόκεινται σε συγκρούσεις με μόρια αερίων. Η κίνηση αυτή ονομάζεται διάχυση Brown. Η ταχύτητα διάχυσης αυτών των μικρών σωματιδίων είναι μεγάλη με αποτέλεσμα να συσσωματώνονται προς μεγαλύτερα σωματίδια.
- Η προσρόφηση συστατικών από την αέρια φάση και η χημική αντίδραση των σωματιδίων με ατμοσφαιρικά αέρια ή σωματίδια προκαλεί αλλοίωση της αρχικής τους σύστασης. Η έκταση αυτής της ετερογενούς μετατροπής των σωματιδίων δεν είναι πλήρως γνωστή.
- Τα σωματίδια απομακρύνονται με ενσωμάτωσή τους στις σταγόνες της βροχής. Η διεργασία αυτή μπορεί να συμβεί είτε κατά το σχηματισμό του σύννεφου της βροχής, είτε κατά την πτώση της βροχής. Πολύ μικρά σωματίδια, συνήθως υγροσκοπικά, π.χ

NaCl ή $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης των υδρατμών. Έτσι βοηθούν τη δημιουργία σταγονιδίων σύννεφου. Τα σωματίδια αυτά έχουν διάμετρο συνήθως 0.1-0.2 μm και ονομάζονται πυρήνες συμπύκνωσης σύννεφου. Η προέλευσή τους είναι φυσική ή ανθρωπογενής. Μετά το σχηματισμό τους, οι σταγόνες της βροχής καθώς πέφτουν στο έδαφος παρασύρουν σημαντικές ποσότητες ατμοσφαιρικών σωματιδίων. Εκτιμάται ότι 70-80% της μάζας των αεροζόλ, που βρίσκονται κάτω από το σύννεφο βροχής, απομακρύνεται με τον τρόπο αυτό.

- Τα σωματίδια απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα και με τη βοήθεια του μηχανισμού της απόθεσης μέσα από το οριακό στρώμα του αέρα και μεταφέρονται στην επιφάνεια του εδάφους. Η ταχύτητα απόθεσης των σωματιδίων μπορεί να περιγραφεί με την ίδια διαδικασία που ισχύει για την ξηρή απόθεση των αερίων. Η ταχύτητα απόθεσης των θετικών αεροζόλ είναι 0.1 cm/sec.

Επιπτώσεις στην υγεία. Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία του ανθρώπου είναι σημαντικές και καθορίζονται τόσο από το μέγεθος, όσο και από τη χημική τους σύσταση. Τα αιωρούμενα σωματίδια προσβάλλουν το αναπνευστικό σύστημα στο οποίο εισέρχονται με την αναπνοή. Στο αναπνευστικό σύστημα εισέρχονται σωματίδια με $d \leq 10 \mu\text{m}$ που αποτελούν το εισπνεύσιμο κλάσμα των σωματιδίων. Τα μεγαλύτερα από τα αυτά αποτίθενται στη ρινική κοιλότητα, ενώ όσο μικραίνει η διάμετρός τους εισχωρούν βαθύτερα στους αεραγωγούς και τις κυψελίδες. Τα σωματίδια που διαπερνούν το ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού (ρινοφάριγγας) ονομάζονται και θωρακικά σωματίδια ($d \leq 7.0 \mu\text{m}$). Τέλος, τα σωματίδια με διάμετρο $d \leq 2.5 \mu\text{m}$ αποτελούν το αναπνεύσιμο κλάσμα, το οποίο είναι το σημαντικότερο από πλευράς επιπτώσεων στην υγεία.

Μια τυπική κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων είναι σε εισπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα, ανάλογα με τη διάμετρό τους. Για σωματίδια με διάμετρο 10 μm , περίπου 80% της μάζας τους είναι εισπνεύσιμα, το 50% είναι θωρακικά, ενώ ελάχιστο ποσοστό είναι αναπνεύσιμα. Αντίθετα, σχεδόν το 90% της μάζας των σωματιδίων με διάμετρο 2.5 μm είναι αναπνεύσιμα.

Η τύχη των εισπνεόμενων σωματιδίων δεν είναι πλήρως γνωστή. Τα υδατοδιαλυτά συστατικά των σωματιδίων διαλύονται στην υγρή φάση των βρόγχων και εισέρχονται στη λέμφο ή την κυκλοφορία, σε κάποιο επίπεδο του αναπνευστικού συστήματος. Τα σωματίδια, που είναι αδιάλυτα σε υδατικές φάσεις, έχει αποδειχθεί ότι υφίστανται φαγοκυττάρωση μέσα σε λίγες

ώρες από τα κυψελιδικά μακροφάγα. Δεν έχει, όμως, υπολογιστεί σε ποια έκταση μεταφέρονται εκτός αναπνευστικού με τα λεμφαγγεία. Η βιολογική ημισεία ζωής τους κυμαίνεται από ημέρες μέχρι χρόνια, ανάλογα με τη χημική τους σύσταση.

Μακροχρόνια εισπνοή σωματιδίων προκαλεί διάφορες μορφές πνευμονοκοκκιάσεων, άσθμα ή και σε ορισμένες περιπτώσεις, καρκινογένεση. Συνηθισμένες είναι οι επαγγελματικές ασθένειες που οφείλονται στην εισπνοή κόνεων, π.χ. πυριτίαση, βαρίωση, κασσιτέρωση κ.ά. Οι οργανικές κόνεις(σκόνες) προκαλούν πολλές φορές και αλλεργικές αντιδράσεις όπως για παράδειγμα η βισίνωση που προκαλείται από τη σκόνη του βαμβακιού.

Ιδιαίτερα επικίνδυνη θεωρείται η σκόνη που περιέχει ίνες αμιάντου. Οι ίνες αυτές εισέρχονται απ' ευθείας στις κυψελίδες των πνευμόνων. Ο οργανισμός δεν μπορεί να τις αποβάλει και, προσπαθώντας να τις απομονώσει, τις περιβάλλει με λεπτό ιστό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χάνουν οι πνεύμονες την ελαστικότητά τους και να προκαλείται αμιάντωση, μεσοθηλώμα ή καρκίνος των πνευμόνων. Περισσότερο επικίνδυνες θεωρούνται οι ίνες με μήκος $>5 \mu\text{m}$, πλάτος $<3 \mu\text{m}$ και λόγο μήκους/πλάτους μεγαλύτερο του 3. Για τις ίνες αυτές έχουν θεσμοθετηθεί και ανώτατες επιτρεπτές συγκεντρώσεις τόσο στην ελεύθερη ατμόσφαιρα, όσο και στην ατμόσφαιρα εσωτερικών χώρων.

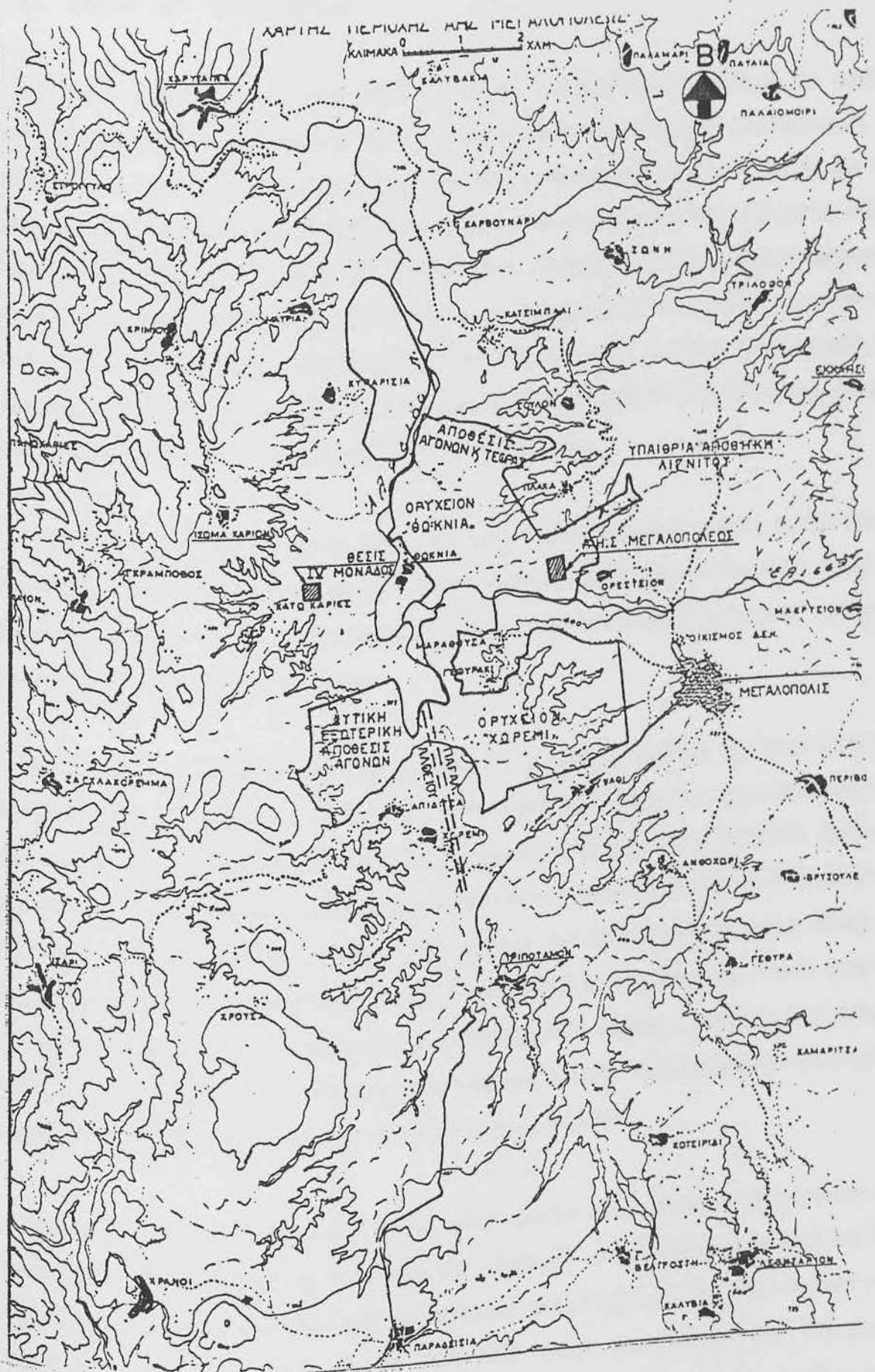
Ο έλεγχος της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τα αιωρούμενα σωματίδια είναι από τις πρώτες ενέργειες που ξεκίνησε ο άνθρωπος για να προστατεύσει το περιβάλλον. Άλλωστε η εκπομπή σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι ορατή και οι επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων είναι άμεσα αντιληπτές. Σήμερα υπάρχει η δυνατότητα να αντιμετωπισθούν όλα τα προβλήματα που προκύπτουν από την πολύ μεγάλη ποικιλία πηγών εκπομπής σωματιδίων.

Σε ότι αφορά στον περιορισμό των εκπομπών σωματιδίων με τα αερολύματα των βιομηχανιών, έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα αποκονίωσης. Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται σε σειρά δύο διαφορετικά συστήματα αποκονίωσης π.χ. οι θάλαμοι βαρύτητας, συνήθως, χρησιμοποιούνται ως στάδιο προκαθορισμού των αερολυμάτων πριν αυτά οδηγηθούν σε κάποιο άλλο σύστημα αποκονίωσης. Ένα προληπτικό μέτρο κατά της εκπομπής σωματιδίων από τις διάφορες πηγές καύσης είναι η χρησιμοποίηση καυσίμων χαμηλής εκπομπής. Έτσι, η καύση μαζούτ (κυρίως από βιομηχανίες και βιοτεχνίες) συνοδεύεται από πολύ υψηλότερες εκπομπές σωματιδίων από την καύση πετρελαίου. Υψηλές

εκπομπές σωματιδίων παρατηρούνται κατά την καύση βιομάζας, ξύλου και κάρβουνου, ενώ το υγραέριο και η κηροζίνη χαρακτηρίζονται από σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές.

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η έντονη βιομηχανική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή της Μεγαλόπολης είχε σαν συνέπεια σειρά περιβαλλοντικών προβλημάτων, όπως αυτό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η Μεγαλόπολη βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του νομού Αρκαδίας, στο κέντρο της ομώνυμης επαρχίας και στο ομώνυμο υψίπεδο, σε ύψος 430 m. Από σχετική μελέτη της έντασης και της διεύθυνσης του πνέοντος ανέμου στην περιοχή του ΑΗΣ Μεγαλόπολης, για τη χρονική περίοδο 1973-1989, έχει διαπιστωθεί ότι όταν ο πνέων άνεμος είναι βόρειο-δυτικού τομέα (WNW-NNW) είναι ισχυρότερος από ότι είναι όταν πνεέει από ESE-SSE. Στην ίδια χρονική περίοδο το φαινόμενο της επικράτησης άπνοιας υπήρξε αρκετά συχνό, ώστε έφτασε το ποσοστό εμφάνισής της το 21.4% (ΔΕΗ, 1995).



Σχήμα 1. Τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης Αρκαδίας.

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στην υπό μελέτη περιοχή λειτουργούν τέσσαρες θερμοηλεκτρικοί σταθμοί. Οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούν ως καύσιμο λιγνίτη που εξορύσσεται σε διπλανά λιγνιτωρυχεία. Το κοιτάσμα του λιγνίτη στην περιοχή της Μεγαλόπολης εκτιμάται ότι είναι της τάξης των 425 εκατ. τόνων και αξιοποιείται εντατικά στην ηλεκτροπαραγωγική διαδικασία (Ενέργεια, 1998). Εκτιμάται ότι από τις καμινάδες των σταθμών που λειτουργούν στην περιοχή εκπέμπονται ετησίως στην ατμόσφαιρα πάνω από 100.000 τόνοι αιωρούμενων σωματιδίων, ενώ ανάλογες είναι και οι εκπεμπόμενες ποσότητες διοξειδίου του θείου. Τα υπαίθρια λιγνιτωρυχεία της περιοχής και λειτουργίες σχετικές με τη διακίνηση και εναπόθεση του λιγνίτη και της τέφρας, αποτελούν επίσης πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων.

Ο έλεγχος της ποιότητας του ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή γίνεται με ένα δίκτυο σταθμών μέτρησης που έχει εγκατεστημένο στην περιοχή, η ΔΕΗ, από το έτος 1983. Το δίκτυο αυτό από το έτος 1997 έχει αναβαθμιστεί με αυτόματους σταθμούς μέτρησης, αυτόματη συλλογή και τηλεμετάδοση δεδομένων.

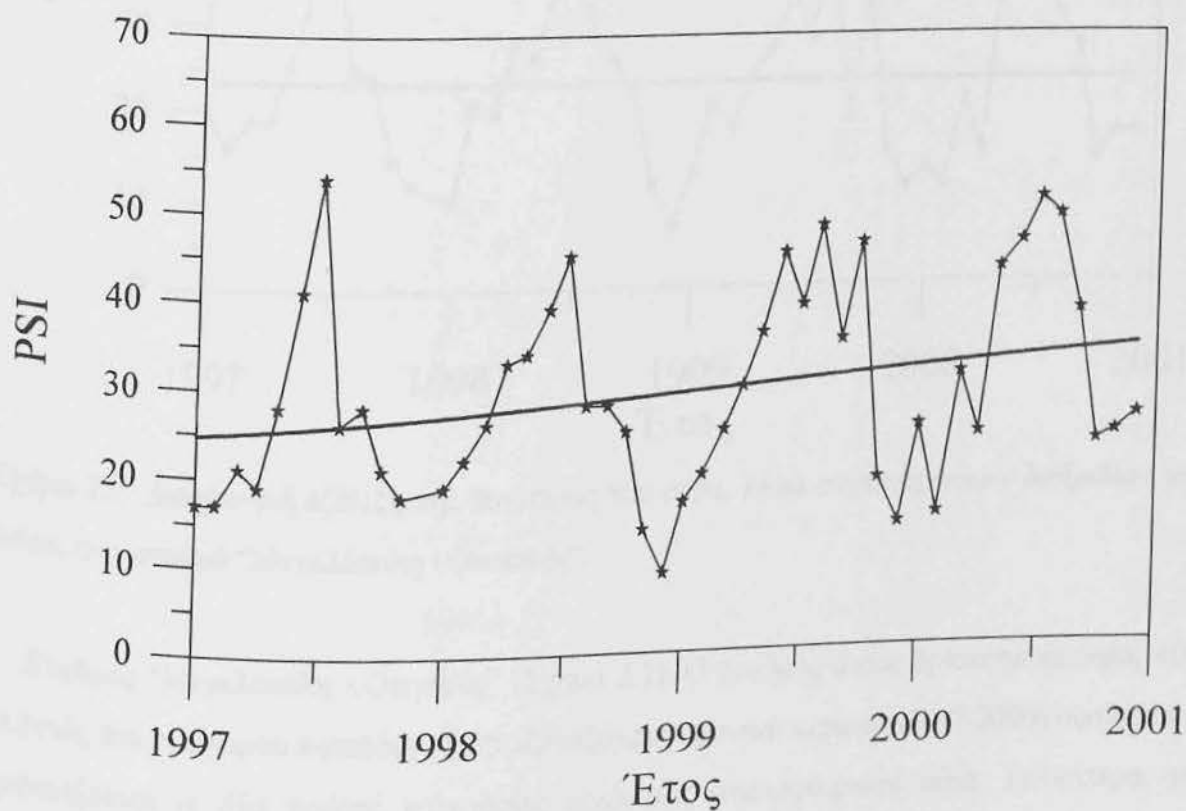
Μελετώντας την ποιότητα της ατμόσφαιρας της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης - Αρκαδίας, για τη χρονική περίοδο 1997-2000, λήφθηκαν υπόψη οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων και του διοξειδίου του θείου του δικτύου της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ. Κατά την ανάλυση των δεδομένων διαπιστώθηκε ότι τα επίπεδα των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου ήταν σχετικά χαμηλά, με αποτέλεσμα οι τιμές του αντίστοιχου επιμέρους δείκτη να διαμορφώνουν ποιότητα ατμόσφαιρας "καλή" σε ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 64% και 93% κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου. Επίσης, οι τιμές του αντίστοιχου επιμέρους δείκτη διαμορφώνουν ποιότητα ατμόσφαιρας "μέτρια" σε ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 7% και 36% κατά τη διάρκεια της ίδιας χρονικής περιόδου.

Για την τη μελέτη του ρόλου των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας της ίδιας περιοχής, λήφθηκαν οι ημερήσιες συγκεντρώσεις των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων από τα δεδομένα των μετρήσεων του ίδιου δικτύου (της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ), για τη χρονική περίοδο 1997-2000. Κατά την ανάλυση των δεδομένων διαπιστώθηκε ότι τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων ήταν σχετικά υψηλά, με αποτέλεσμα οι τιμές του αντίστοιχου επιμέρους δείκτη να διαμορφώνουν

ποιότητα ατμόσφαιρας “καλή” σε ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 32% και 54% κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου. Επίσης, οι τιμές του αντίστοιχου επιμέρους δείκτη διαμορφώνουν ποιότητα ατμόσφαιρας “μέτρια” σε ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 46% και 67% κατά τη διάρκεια της ίδιας χρονικής περιόδου.

1. Υπολογισμός τιμής $PSI=f(I_1)$

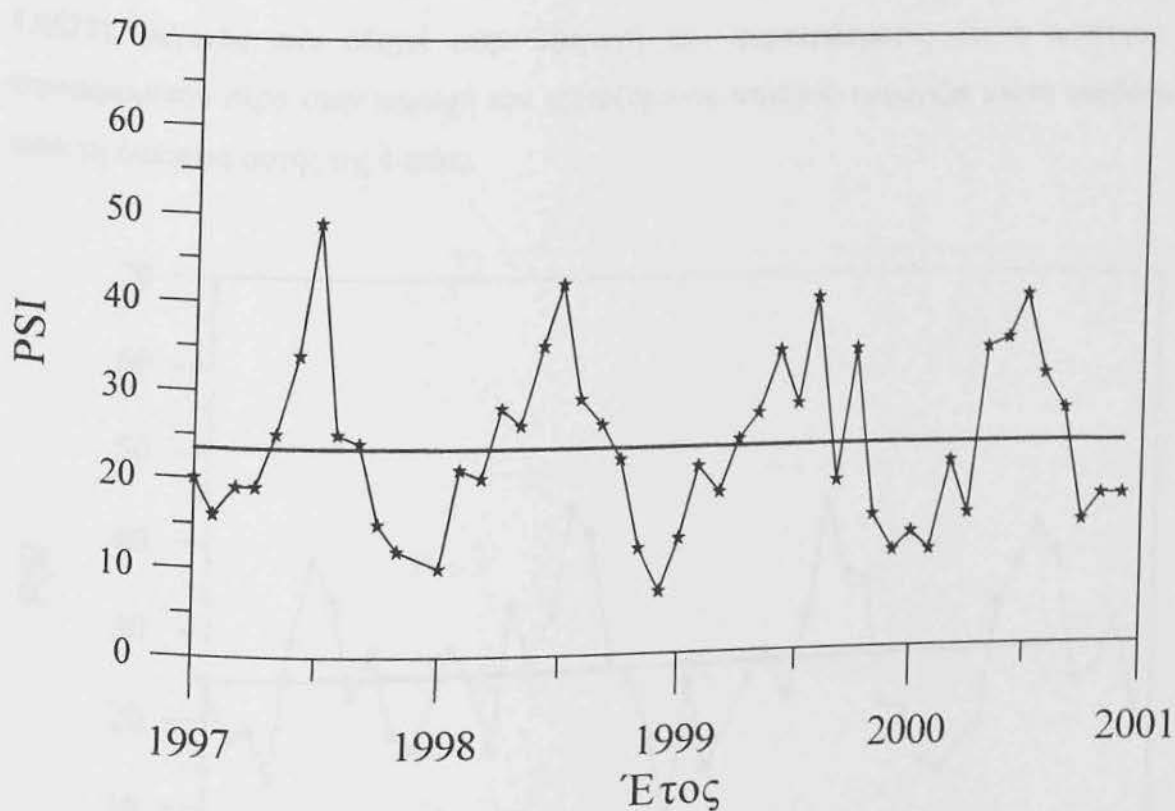
Από την επεξεργασία των χρονοσειρών, με τις 24ωρες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου, των σταθμών του δικτύου της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής, έγινε καθορισμός των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI, της περιόδου 1997-2000. Από την επεξεργασία αυτή προέκυψε η διαχρονική εξέλιξη των τιμών του δείκτη ποιότητας του αέρα. Στα Σχήματα 2.1-2.9 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη των τιμών του δείκτη PSI για ένα από τους εξεταζόμενους σταθμούς του δικτύου της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ, κατά την εξεταζόμενη χρονική περίοδο.



Σχήμα 2.1. Διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του αέρα, λόγω συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου, στο σταθμό “Μεγαλόπολη - Δημοτικό Σχολείο”.

Σταθμός “Μεγαλόπολη - Δημοτικό Σχολείο” (Σχήμα 2.1). Ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε ύψος 435 m εντός του ομώνυμου υσιπέδου. Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα.

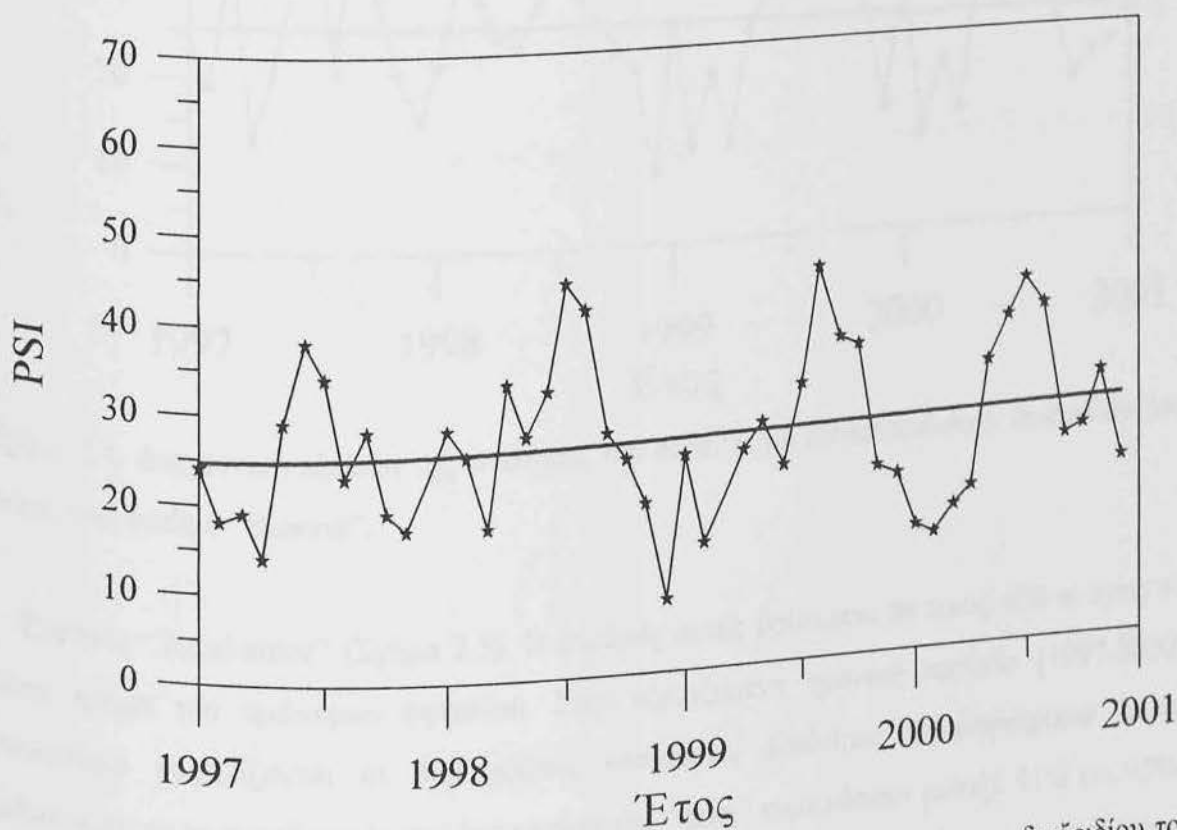
Ειδικότερα, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας “καλή” κυμάνθηκαν μεταξύ 74% και 85%, ενώ η εξέλιξη του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης της κατηγορίας “μέτρια” ήταν από 15% μέχρι και 23%. Από την εξέταση της τάσης που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του δείκτη στο σταθμό αυτό, διαπιστώνεται ότι η εμφανιζόμενη γραμμική τάση εμφανίζει κλίση θετική ($b = 2.3919$), γεγονός που συνηγορεί στην εξαγωγή του συμπεράσματος ότι η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή του εξεταζόμενου σταθμού εμφανίζει κάποια υποβάθμιση, κατά τη διάρκεια αυτής της 4-ετίας.



Σχήμα 2.2. Διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του αέρα, λόγω συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου, στο σταθμό “Μεγαλόπολη - Οικισμός”.

Σταθμός “Μεγαλόπολη - Οικισμός” (Σχήμα 2.2). Ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε ύψος 400 m εντός του ομώνυμου υψιπέδου. Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας “καλή” κυμάνθηκαν μεταξύ 84% και 89%, ενώ η εξέλιξη του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης της κατηγορίας “μέτρια” ήταν από 10% μέχρι και 16%. Από την εξέταση της τάσης που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του δείκτη στο σταθμό αυτό, διαπιστώνεται ότι η εμφανιζόμενη γραμμική τάση παρουσιάζει πολύ μικρή αρνητική κλίση ($b = -0.0575$). Το γεγονός αυτό οδηγεί σε ένδειξη σταθερής ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή του εξεταζόμενου σταθμού, κατά τη διάρκεια αυτής της 4-ετίας.

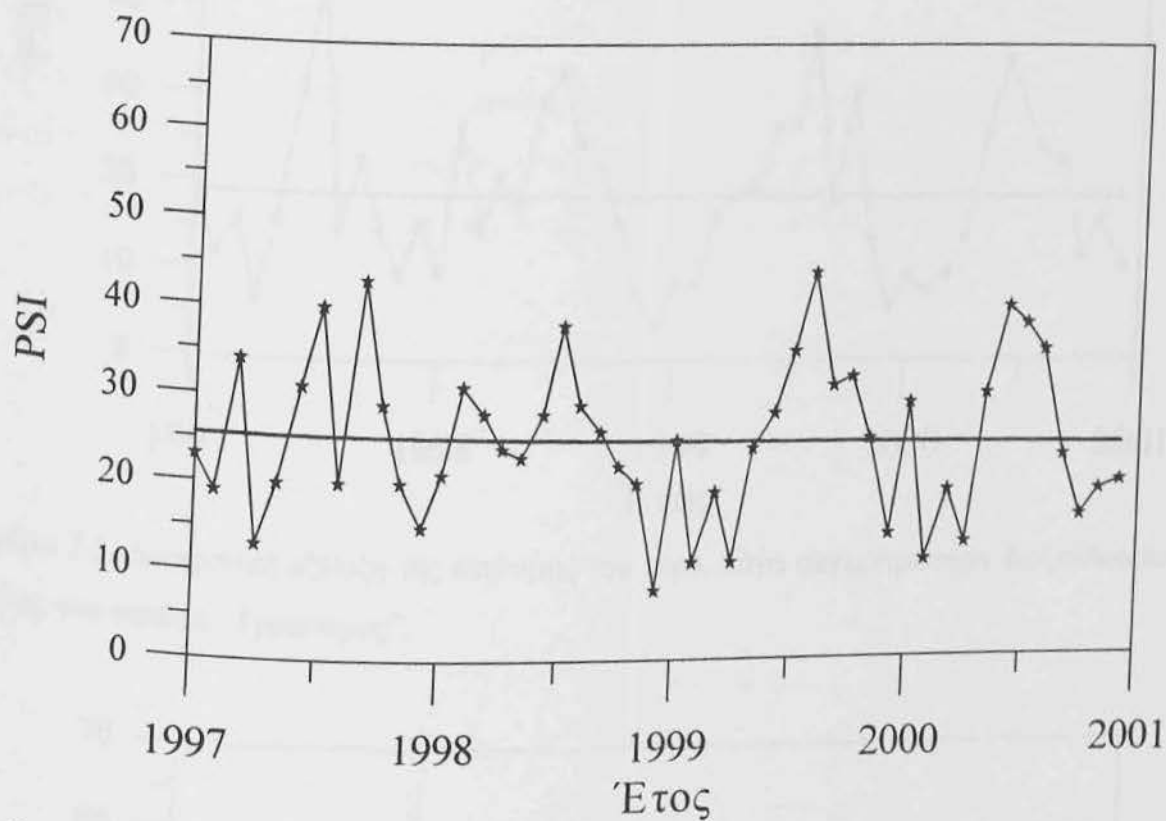
Σταθμός “Ζώνη” (Σχήμα 2.3). Ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε ύψος 500 m προς το βόρειο τμήμα του ομώνυμου υψιπέδου. Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας “καλή” κυμάνθηκαν μεταξύ 81% και 87%, ενώ η εξέλιξη του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης της κατηγορίας “μέτρια” ήταν από 13% μέχρι και 19%. Από την εξέταση της τάσης που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του δείκτη στο σταθμό αυτό, διαπιστώνεται ότι η εμφανιζόμενη γραμμική τάση παρουσιάζει μικρή θετική κλίση ($b = 0.6523$), γεγονός που οδηγεί στην εξαγωγή του συμπεράσματος ότι η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή του εξεταζόμενου σταθμού εμφανίζει μικρή υποβάθμιση, κατά τη διάρκεια αυτής της 4-ετίας.



Σχήμα 2.3. Διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του αέρα, λόγω συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου, στο σταθμό “Ζώνη”.

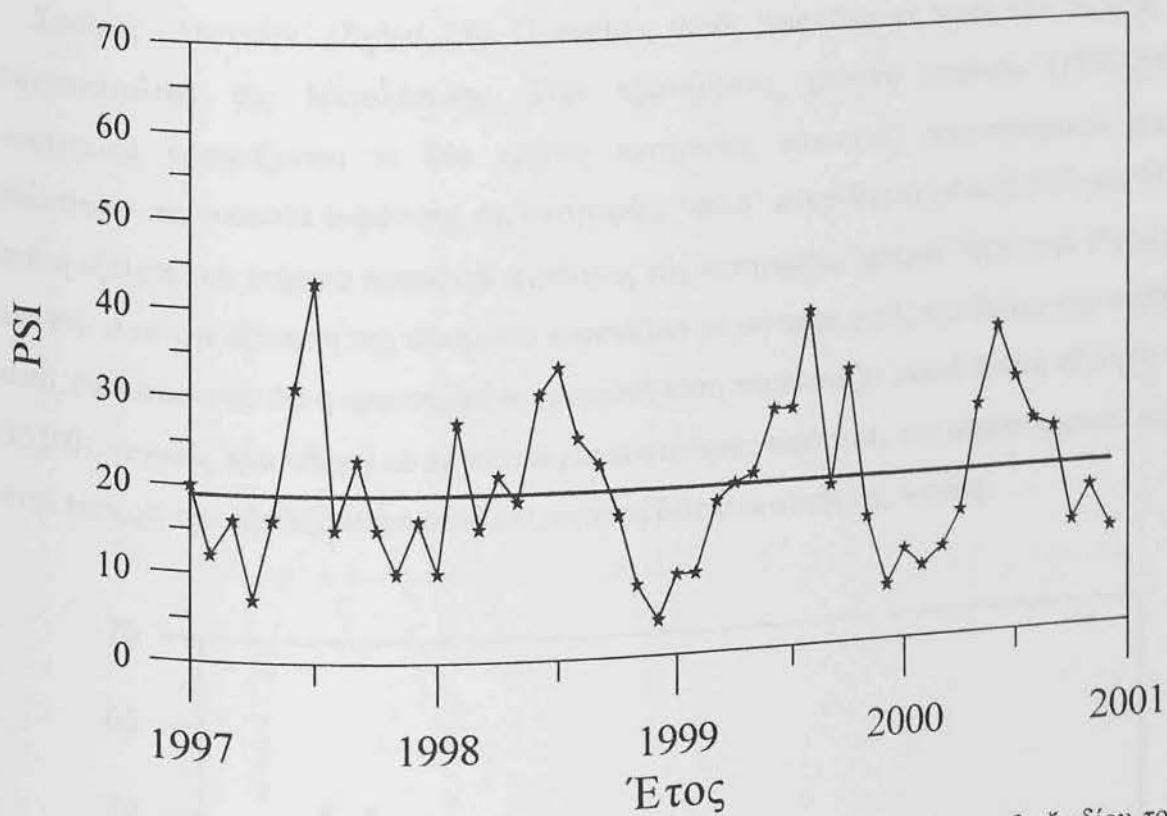
Σταθμός “Θώκνια” (Σχήμα 2.4). Ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε ύψος 350 m εντός του ομώνυμου υψιπέδου. Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας “καλή” κυμάνθηκαν μεταξύ 84% και 89%, ενώ η εξέλιξη του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης της κατηγορίας “μέτρια” ήταν από 11% μέχρι και 16%. Από

την εξέταση της τάσης που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του δείκτη στο σταθμό αυτό, διαπιστώνεται ότι η εμφανιζόμενη γραμμική τάση παρουσιάζει μικρή θετική κλίση ($b = -0.2700$), γεγονός που οδηγεί σε ένδειξη περίπου σταθερής ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή του εξεταζόμενου σταθμού, κατά τη διάρκεια αυτής της 4-ετίας.

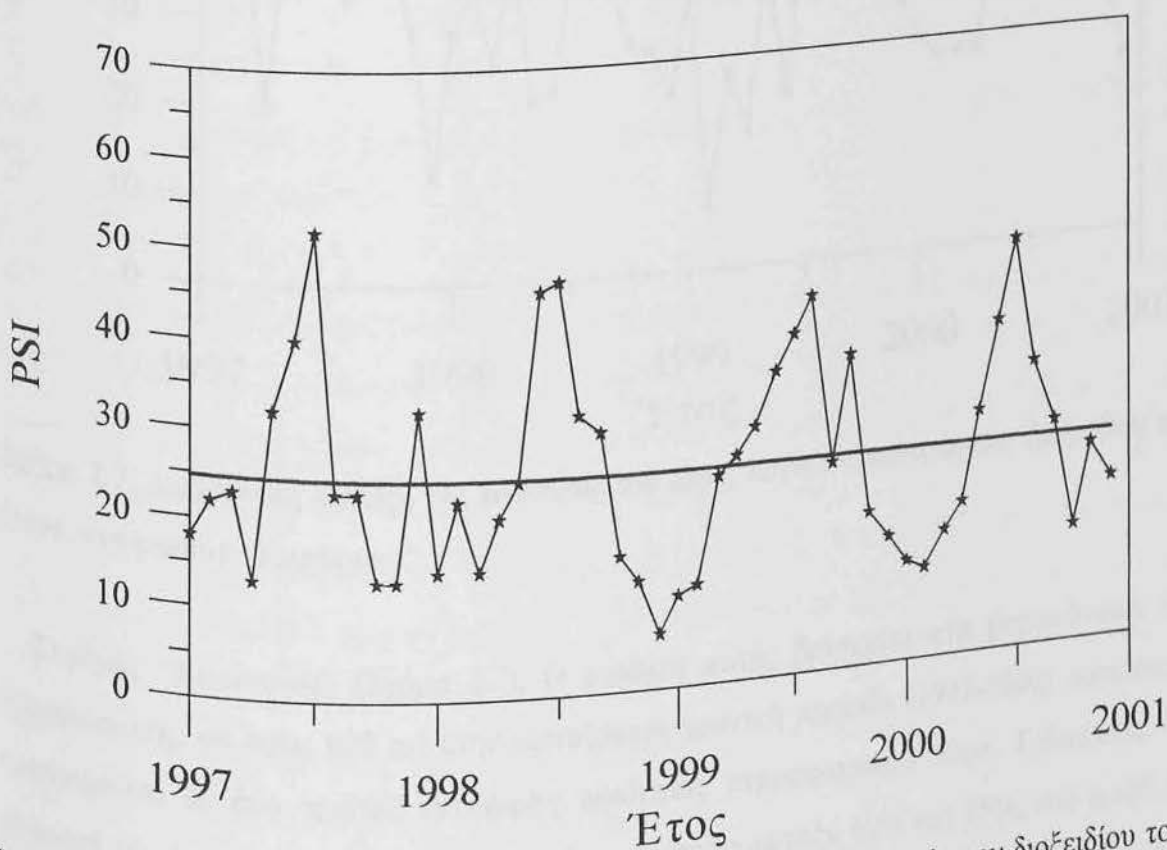


Σχήμα 2.4. Διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του αέρα, λόγω συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου, στο σταθμό "Θώκνια".

Σταθμός "Τριπόταμος" (Σχήμα 2.5). Ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε ύψος 450 m προς το νότιο τμήμα του ομώνυμου υψιπέδου. Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας "καλή" κυμάνθηκαν μεταξύ 91% και 95%, ενώ η εξέλιξη του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης της κατηγορίας "μέτρια" ήταν από 5% μέχρι και 9%. Από την εξέταση της τάσης που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του δείκτη στο σταθμό αυτό, διαπιστώνεται ότι η εμφανιζόμενη γραμμική τάση παρουσιάζει μικρή θετική κλίση ($b = -0.0225$), γεγονός που οδηγεί σε ένδειξη σταθερής ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή του εξεταζόμενου σταθμού, κατά τη διάρκεια αυτής της 4-ετίας.

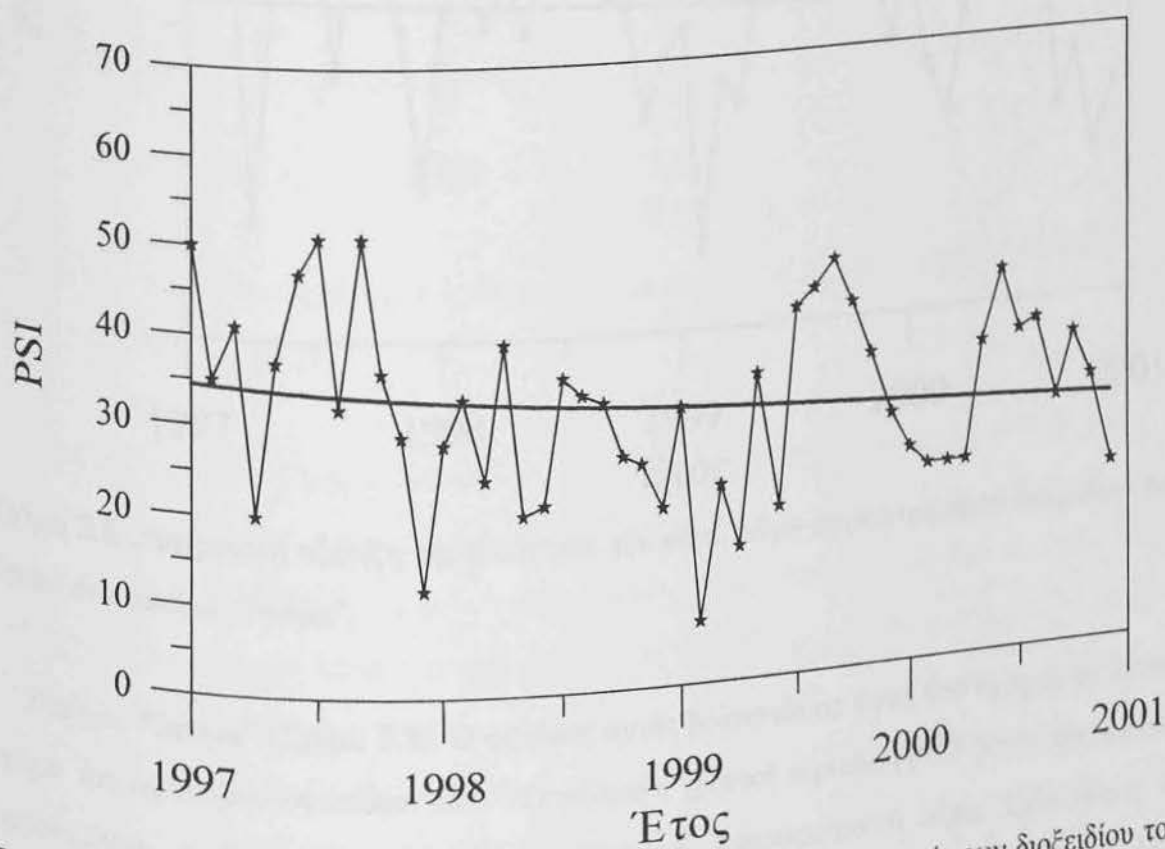


Σχήμα 2.5. Διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του αέρα, λόγω συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου, στο σταθμό "Τριπόταμος".



Σχήμα 2.6. Διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του αέρα, λόγω συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου, στο σταθμό "Λεοντάρι".

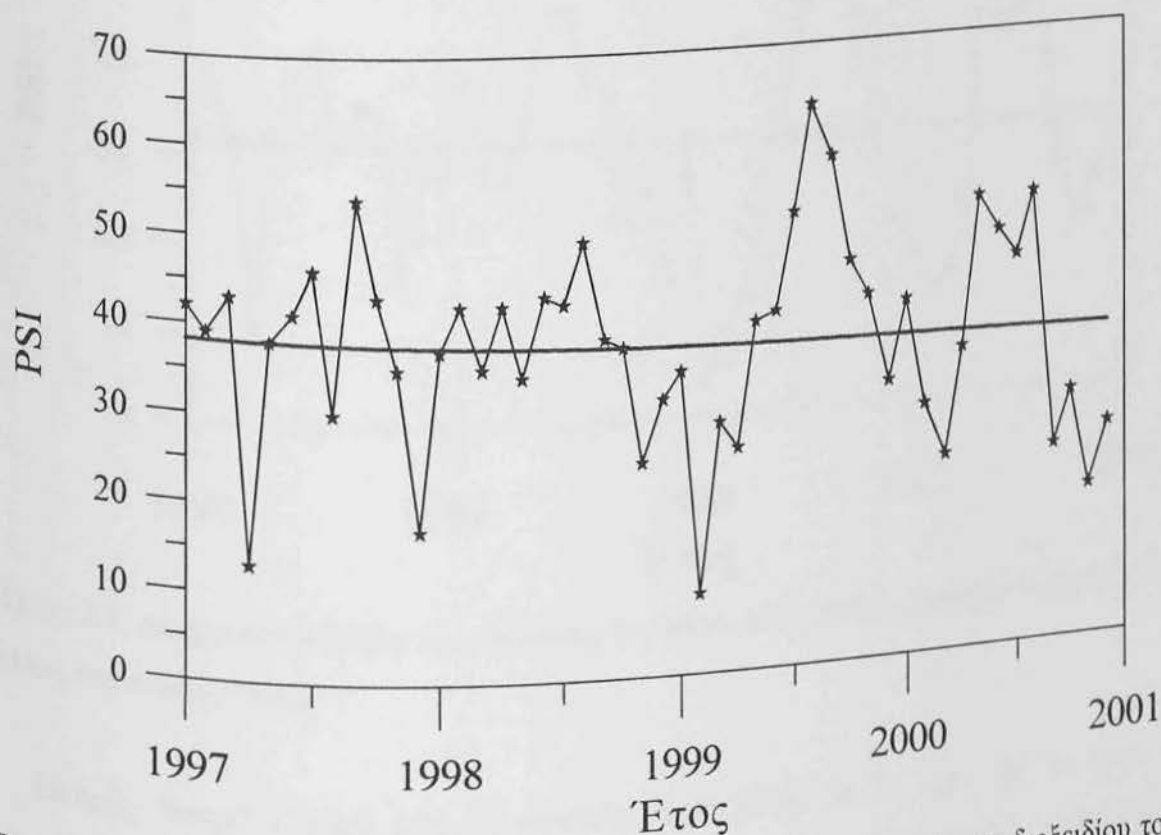
Σταθμός “Λεοντάρι” (Σχήμα 2.6). Ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε ύψος 610 m προς το νοτιοανατολικά της Μεγαλόπολης. Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας “καλή” κυμάνθηκαν μεταξύ 91% και 95%, ενώ η εξέλιξη του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης της κατηγορίας “μέτρια” ήταν από 5% μέχρι και 9%. Από την εξέταση της τάσης που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του δείκτη στο σταθμό αυτό, διαπιστώνεται ότι η εμφανιζόμενη γραμμική τάση παρουσιάζει μικρή θετική κλίση ($b = -0.3200$), γεγονός που οδηγεί σε ένδειξη περίπου σταθερής ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή του εξεταζόμενου σταθμού, κατά τη διάρκεια αυτής της 4-ετίας.



Σχήμα 2.7. Διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του αέρα, λόγω συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου, στο σταθμό “Καρύταινα”.

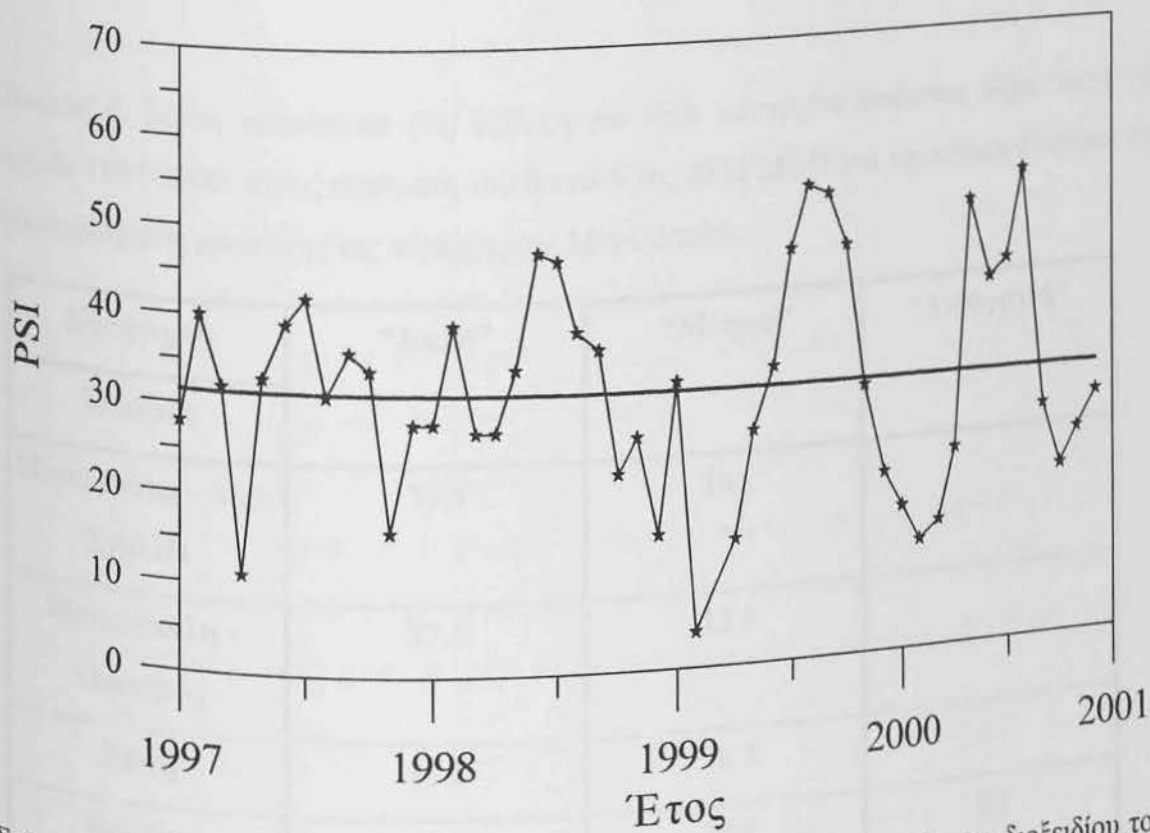
Σταθμός “Καρύταινα” (Σχήμα 2.7). Ο σταθμός αυτός βρίσκεται στα βορειοδυτικά της Μεγαλόπολης, σε ύψος 620 m. Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας “καλή” κυμάνθηκαν μεταξύ 60% και 85%, ενώ η εξέλιξη του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης της κατηγορίας “μέτρια” ήταν από 15% μέχρι και 40%. Από την εξέταση της τάσης που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του δείκτη στο σταθμό αυτό, διαπιστώνεται ότι η εμφανιζόμενη γραμμική τάση εμφανίζει κλίση θετική ($b = -1.6983$).

γεγονός που συνηγορεί στην εξαγωγή του συμπεράσματος ότι η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή του εξεταζόμενου σταθμού εμφανίζει σημαντική βελτίωση, κατά τη διάρκεια αυτής της 4-ετίας.



Σχήμα 2.8. Διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του αέρα, λόγω συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου, στο σταθμό "Ισωμα".

Σταθμός "Ισωμα" (Σχήμα 2.8). Ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε ύψος 650 m προς το δυτικό τμήμα του ομώνυμου υψιπέδου. Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας "καλή" κυμάνθηκαν μεταξύ 59% και 71%, ενώ η εξέλιξη του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης της κατηγορίας "μέτρια" ήταν από 36% μέχρι και 41%. Η κατηγορία "ανθυγιεινή" εμφανίζεται, σε δύο μόνο περιπτώσεις κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, με αποτέλεσμα το ποσοστό εμφάνισής της να περιορίζεται στο 0.3%. Από την εξέταση της τάσης που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του δείκτη στο σταθμό αυτό, διαπιστώνεται ότι η εμφανιζόμενη γραμμική τάση εμφανίζει σχετικά μικρή αρνητική κλίση ($b = -0.7003$), γεγονός που συνηγορεί στην εξαγωγή του συμπεράσματος ότι η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή του εξεταζόμενου σταθμού εμφανίζει μικρή βελτίωση, κατά τη διάρκεια αυτής της 4-ετίας.



Σχήμα 2.9. Διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του αέρα, λόγω συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου, στο σταθμό "Ίσαρι".

Σταθμός "Ίσαρι" (Σχήμα 2.9). Ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε ύψος 800 m προς το νοτιοδυτικό τμήμα του ομώνυμου υσιπέδου. Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας "καλή" κυμάνθηκαν μεταξύ 69% και 79%, ενώ η εξέλιξη του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης της κατηγορίας "μέτρια" ήταν από 21% μέχρι και 29%. Η κατηγορία "ανθυγιεινή" εμφανίζεται, σε έξι περιπτώσεις κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, με αποτέλεσμα το ποσοστό εμφάνισής της να περιορίζεται στο 0.5%. Από την εξέταση της τάσης που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του δείκτη στο σταθμό αυτό, διαπιστώνεται ότι η εμφανιζόμενη γραμμική τάση εμφανίζει μικρή αρνητική κλίση ($b = -0.2492$), γεγονός που συνηγορεί στην εξαγωγή του συμπεράσματος ότι η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή του εξεταζόμενου σταθμού παραμένει σταθερή, κατά τη διάρκεια αυτής της 4-ετίας.

Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται μόνο οι τρεις πρώτες κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στην υπό μελέτη περιοχή, αν βέβαια ληφθούν υπόψη μόνο οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου. Τα μέσα ποσοστά εμφάνισης της κάθε κατηγορίας εμφανίζονται στον Πίνακα 6.

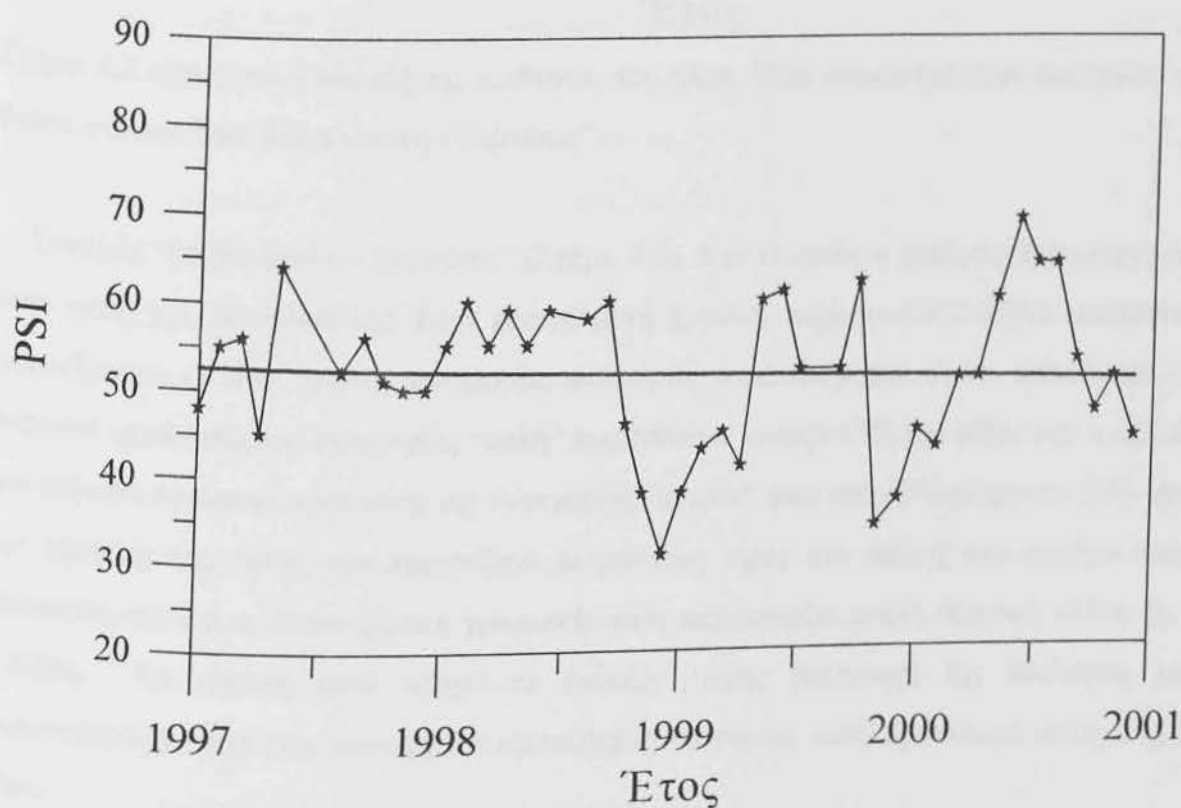
Πίνακας 6. Μέση ποσοστιαία (%) εξέλιξη για κάθε κατηγορία ποιότητας αέρα, κατά την περίοδο 1997-2000, στους σταθμούς του δικτύου της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής της Μεγαλόπολης.

Κατηγορία	“Καλή”	“Μέτρια”	“Ανθυγιεινή”
Σταθμός			
Μεγαλόπολη - Δημ. Σχολείο	79.9	20.1	
Μεγαλόπολη - Οικισμός	87.5	12.5	
Ζώνη	83.5	16.5	
Θώκνια	85.9	14.0	0.1
Τριπόταμος	93.3	6.7	
Λεοντάρι	84.6	15.4	
Καρύταινα	76.5	23.5	
Ίσωμα	63.8	36.0	0.2
Ίσαρι	74.7	24.8	0.5

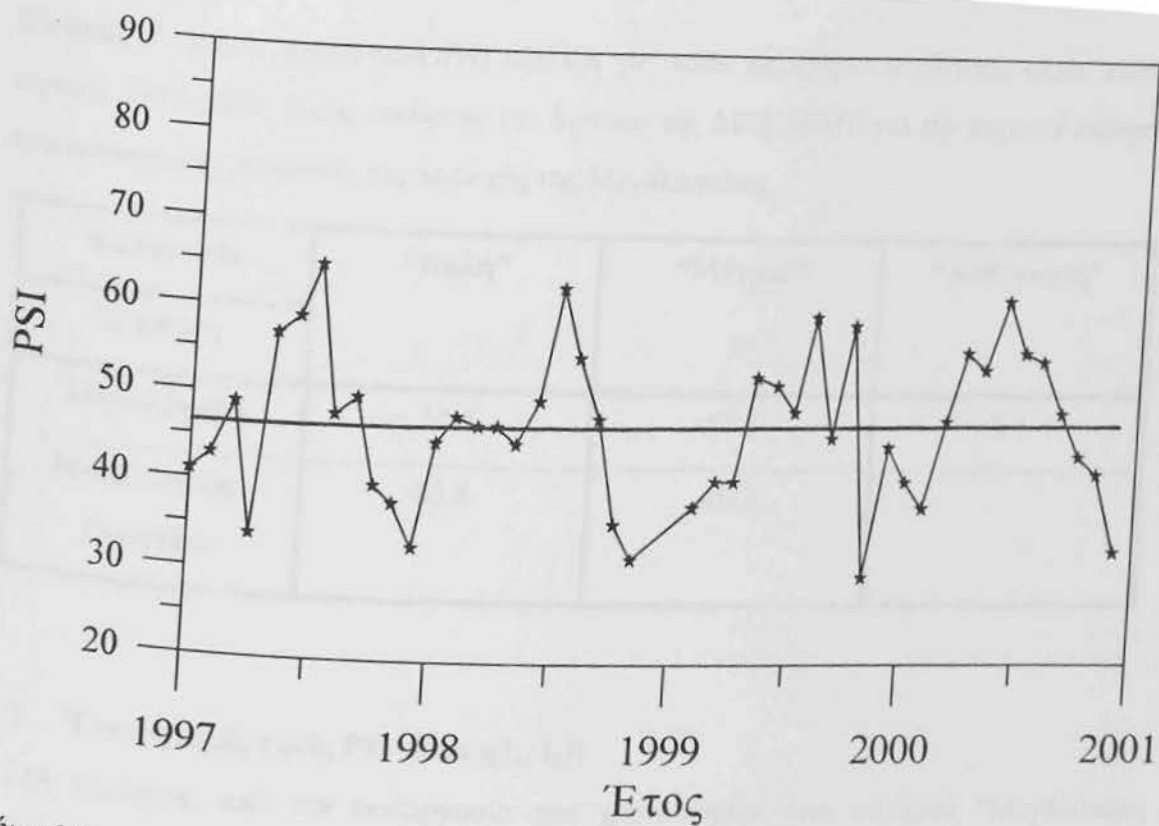
2. Υπολογισμός τιμής $PSI=f(I_2)$

Στη συνέχεια, από την επεξεργασία των χρονοσειρών, με τις 24ωρες συγκεντρώσεις των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων, των σταθμών του δικτύου της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής, έγινε καθορισμός των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI, της περιόδου 1997-2000. Από την επεξεργασία αυτή προέκυψε η διαχρονική εξέλιξη των τιμών του δείκτη ποιότητας του αέρα. Στα Σχήματα 3.1-3.2 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη των τιμών του δείκτη PSI για ένα από τους εξεταζόμενους σταθμούς του δικτύου της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ, κατά την εξεταζόμενη χρονική περίοδο.

Σταθμός “Μεγαλόπολη” (Σχήμα 3.1). Ο σταθμός αυτός βρίσκεται μέσα στην πόλη της Μεγαλόπολης. Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας “καλή” κυμάνθηκαν μεταξύ 23% και 39%, ενώ η εξέλιξη του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης της κατηγορίας “μέτρια” ήταν από 61% μέχρι και 76%. Η κατηγορία “ανθυγιεινή” εμφανίζεται, σε δύο περιπτώσεις κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, με αποτέλεσμα το ποσοστό εμφάνισής της να περιορίζεται στο 0.4%. Από την εξέταση της τάσης που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του δείκτη στο σταθμό αυτό, διαπιστώνεται ότι η εμφανιζόμενη γραμμική τάση εμφανίζει μικρή αρνητική κλίση θετική ($b = -0,4591$), γεγονός που συνηγορεί στην εξαγωγή του συμπεράσματος ότι η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή του εξεταζόμενου σταθμού παραμένει σταθερή, κατά τη διάρκεια αυτής της 4-ετίας.



Σχήμα 3.1. Διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του αέρα, λόγω συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου, στο σταθμό “Μεγαλόπολη”.



Σχήμα 3.2. Διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του αέρα, λόγω συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου, στο σταθμό “Μεγαλόπολη - Γυμνάσιο”.

Σταθμός “Μεγαλόπολη - Γυμνάσιο” (Σχήμα 3.2). Και Ο αυτός ο σταθμός βρίσκεται μέσα στην πόλη της Μεγαλόπολης. Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας “καλή” κυμάνθηκαν μεταξύ 49% και 60%, ενώ η εξέλιξη του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης της κατηγορίας “μέτρια” ήταν από 40% μέχρι και 51%. Από την εξέταση της τάσης που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του δείκτη στο σταθμό αυτό, διαπιστώνεται ότι η εμφανιζόμενη γραμμική τάση παρουσιάζει μικρή θετική κλίση ($b = 0.2624$). Το γεγονός αυτό οδηγεί σε ένδειξη μικρής βελτίωσης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή του εξεταζόμενου σταθμού, κατά τη διάρκεια αυτής της 4-ετίας.

Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται μόνο οι τρεις πρώτες κατηγορίες ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στην υπό μελέτη περιοχή, αν βέβαια ληφθούν υπόψη μόνο οι συγκεντρώσεις των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων. Τα μέσα ποσοστά εμφάνισης της κάθε κατηγορίας εμφανίζονται στον Πίνακα 7.

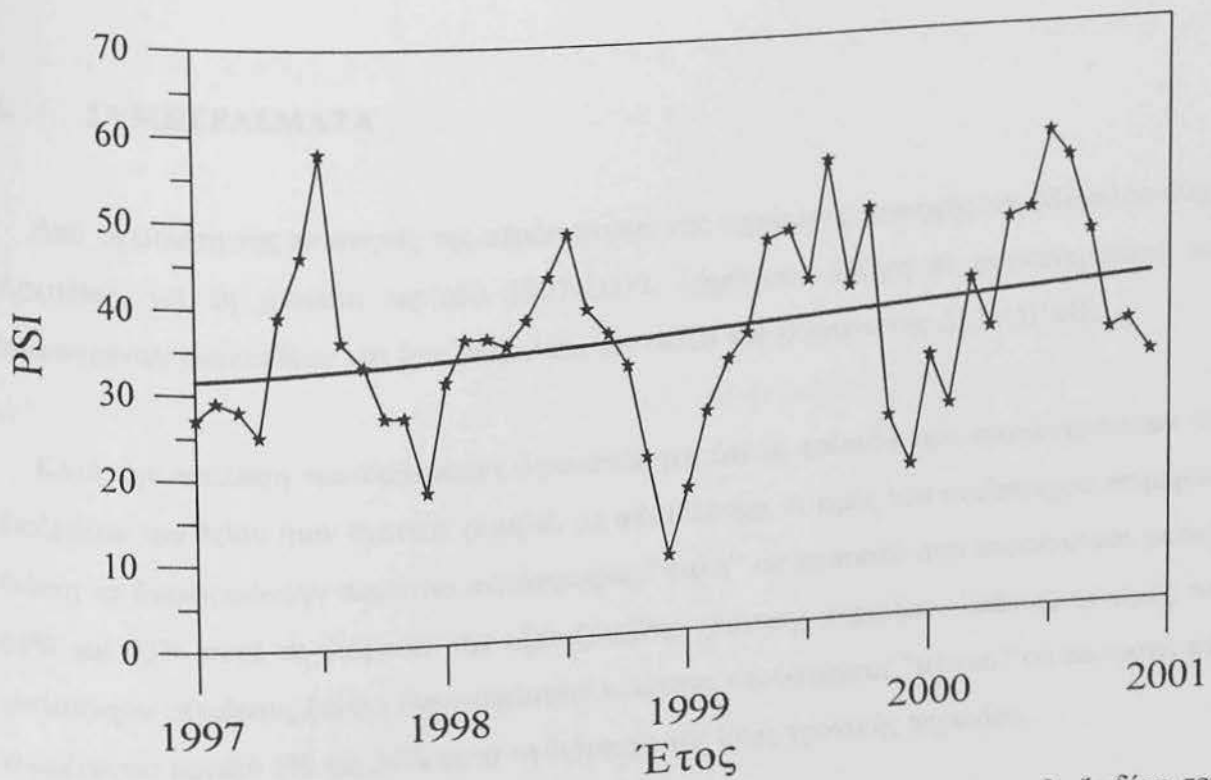
Πίνακας 7. Μέση ποσοστιαία (%) εξέλιξη για κάθε κατηγορία ποιότητας αέρα, κατά την περίοδο 1997-2000, στους σταθμούς του δικτύου της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ για την παρακολούθηση της αμτμοσφαιρικής ρύπανσης της περιοχής της Μεγαλόπολης.

Κατηγορία	“Καλή”	“Μέτρια”	“Ανθυγιεινή”
Σταθμός			
Μεγαλόπολη	32.3	67.3	0.4
Μεγαλόπολη - Γυμνάσιο	53.8	46.2	

3. Υπολογισμός τιμής $PSI=f(\max(I_1, I_2))$

Στη συνέχεια, από την επεξεργασία των χρονοσειρών, του σταθμού “Μεγαλόπολη - Δημοτικό Σχολείο” και του σταθμού “Μεγαλόπολη - Γυμνάσιο” με τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI που προκύπτουν από τις 24ωρες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου και των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων, αντίστοιχα, της περιόδου 1997-2000. Έχοντας λοιπόν τις ημερήσιες τιμές των επιμέρους δεικτών I_1 και I_2 , μπορούμε με βάση τη σχέση (1), να υπολογίσουμε την ημερήσια τιμή του του δείκτη ποιότητας του αέρα (PSI) για τον συγκεκριμένο σταθμό. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη των τιμών του δείκτη PSI για το σταθμό αυτό του δικτύου της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ, κατά την εξεταζόμενη χρονική περίοδο.

Σταθμός “Μεγαλόπολη - Σχολείο” (Σχήμα 4). Ο αυτός ο σταθμός βρίσκεται μέσα στην πόλη της Μεγαλόπολης. Στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1997-2000) ουσιαστικά εμφανίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας “καλή” κυμάνθηκαν μεταξύ 65% και 75%, ενώ η εξέλιξη του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης της κατηγορίας “μέτρια” ήταν από 25% μέχρι και 35%. Επίσης, στην εξεταζόμενη 4ετία τα μέσα ποσοστά εμφάνισης της κάθε κατηγορίας είναι 71% για την “καλή” και 29% για την “μέτρια”. Από την εξέταση της τάσης που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του δείκτη στο σταθμό αυτό, διαπιστώνεται ότι η εμφανιζόμενη γραμμική τάση παρουσιάζει θετική κλίση ($b = 2.0584$). Το γεγονός αυτό οδηγεί σε ένδειξη υποβάθμισης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή αυτού του σταθμού, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης 4-ετίας.



Σχήμα 4. Διαχρονική εξέλιξη της ποιότητας του αέρα, λόγω συγκεντρώσεων διοξειδίου του θείου, στο σταθμό "Μεγαλόπολη - Σχολείο".

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας της ευρύτερης περιοχής της Μεγαλόπολης - Αρκαδίας, για τη χρονική περίοδο 1997-2000, λήφθηκαν υπόψη οι συγκεντρώσεις των αιωρουμένων σωματιδίων και του διοξειδίου του θείου του δικτύου της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ.

Κατά την ανάλυση των δεδομένων διαπιστώθηκε ότι τα επίπεδα των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου ήταν σχετικά χαμηλά, με αποτέλεσμα οι τιμές του αντίστοιχου επιμέρους δείκτη να διαμορφώνουν ποιότητα ατμόσφαιρας "καλή" σε ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 64% και 93% κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου. Επίσης, οι τιμές του αντίστοιχου επιμέρους δείκτη διαμορφώνουν ποιότητα ατμόσφαιρας "μέτρια" σε ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 7% και 36% κατά τη διάρκεια της ίδιας χρονικής περιόδου.

Για την τη μελέτη του ρόλου των ολικών αιωρουμένων σωματιδίων στη διαμόρφωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας της ίδιας περιοχής, λήφθηκαν οι ημερήσιες συγκεντρώσεις των ολικών αιωρουμένων σωματιδίων από τα δεδομένα των μετρήσεων του ίδιου δικτύου, για τη χρονική περίοδο 1997-2000. Κατά την ανάλυση των δεδομένων διαπιστώθηκε ότι τα επίπεδα των συγκεντρώσεων των ολικών αιωρουμένων σωματιδίων ήταν σχετικά υψηλά, με αποτέλεσμα οι τιμές του αντίστοιχου επιμέρους δείκτη να διαμορφώνουν ποιότητα ατμόσφαιρας "καλή" σε ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 32% και 54% κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου. Επίσης, οι τιμές του αντίστοιχου επιμέρους δείκτη διαμορφώνουν ποιότητα ατμόσφαιρας "μέτρια" σε ποσοστά που κυμαίνονται μεταξύ 46% και 67% κατά τη διάρκεια της ίδιας χρονικής περιόδου.

Τέλος, μόνο στη θέση "Μεγαλόπολη - Σχολείο", όπου κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου καταγράφηκαν ταυτόχρονα 24ωρες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου και των ολικών αιωρουμένων σωματιδίων υπήρξε δυνατότητα υπολογισμού των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI που προκύπτουν από τις ημερήσιες τιμές των επιμέρους δεικτών του κάθε ρύπου για τον συγκεκριμένο σταθμό. Κατά την ανάλυση των δεδομένων διαπιστώθηκε ότι τα ποσοστά εμφάνισης της κατηγορίας "καλή" κυμάνθηκαν μεταξύ 65% και 75%, ενώ η εξέλιξη του ετήσιου ποσοστού εμφάνισης της κατηγορίας "μέτρια" ήταν από 25%

μέχρι και 35%. Επίσης, στην εξεταζόμενη 4ετία τα μέσα ποσοστά εμφάνισης της κάθε κατηγορίας είναι 71% για την “καλή” και 29% για την “μέτρια”.

Από την αξιολόγηση της τάσεων που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του δείκτη PSI σε όλους τους σταθμούς του δικτύου της ΔΕΗ/ΔΕΜΕ, μόνο στο σταθμό “Μεγαλόπολη - Σχολείο”, διαπιστώνεται ότι η θετική κλίση της εμφανιζόμενης γραμμικής τάσης συνηγορεί στην εξαγωγή του συμπεράσματος ότι η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή του εξεταζόμενου σταθμού εμφανίζει κάποια υποβάθμιση, κατά τη διάρκεια αυτής της 4-ετίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Boubel, R.W., D.L. Fox, D.B. Turner, and A.C. Stern, 1994: *Fundamentals of Air Pollution*, 3rd Edition, Academic Press, London, pp. 574.
- Dalianis, D., D. Petassis, M. Santamouris, A. Argiriou, C. Cartalis and D.N. Asimakopoulos, 1997: Social cost of electricity generation in Greece. *Renewable Energy*, 12, 3, 281-289.
- ΔΕΗ, 1995: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Δ/ση Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας, Τομέας Συλλογής Στοιχείων και Μελετών Περιβάλλοντος, Μετρήσεις ρύπανσης του αέρα στην ευρύτερη περιοχή του ΑΗΣ Μεγαλόπολης, Απρίλιος 93 - Μάρτιος 95
- Ενέργεια, 1998: Τα στερεά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός. *Ενέργεια*, 39, 46-47.
- Katsouyanni, K., A. Pantasopoulou, G. Touloumi, K. Moustiris, I. Tselepidaki, D. Asimakopoulos, G. Pouloupoulou, and D. Trichopoulos, 1993: Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality. *Archiv of Environmenal Health*, 48, 235-242.
- Λάλας Δ., Δ. Ασημακόπουλος, Μ. Πετράκης, Κ. Χέλμης, Μ. Τόμπρου, Δ. Δεληγιώργη, 1987: Ατμοσφαιρική ρύπανση στην κοιλάδα της Πτολεμαΐδας. Αθήνα, σελ. 237.
- Mitchell J.M., B. Dzerdzevskii, H. Flohn, W.L. Hofmeyr, H.H. Lamb, K.N. Rao, and C.C. Wallen, 1966: *Climatic Change*, WMO Tech. Note No 79, pp. 79.
- Μπεργελές Γ., 1992: Παρούσα και μελλοντική ποιότητα περιβάλλοντος από τη λειτουργία των θερμοηλεκτρικών μονάδων της ΔΕΗ στο λεκανοπέδιο Πτολεμαΐδας. Μελέτη - Τεχνική έκθεση για τη ΔΕΗ, Αθήνα, σελ. 100.
- Ott, W.R. and G.C. Thom, 1976: A critical review of air pollution index systems in the United States and Canada, *Journal of Air Pollution Control Association*, 26, 460-470.
- Ott, W.R. and W.F. Hunt, 1976: A quantitative evaluation of the pollutant standards index, *Journal of Air Pollution Control Association*, 26, 1050-1054.
- Παλιατσός Α.Γ., Κ.Β. Κουκουλέτσος, Π.Θ. Νάστος, Κ.Μ. Φιλάνδρας, Δ.Α. Βαρβαρίγος, Ν.Φ. Ζαρωνικόλας, 2001: Μεταβολή της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Παρουσιάστηκε στο 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Περιβάλλοντος της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών, Καλαμπάκα, 26-28 Ιανουαρίου 2001.
- Παλιατσός Α.Γ., Κ.Χ. Αγγελόπουλος και Κ.Β. Κουκουλέτσος, 2002: Συνεισφορά στη μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας μη αστικής περιοχής. Παρουσιάστηκε στο 2ο Συνέδριο "Τεχνολογίες Αρχιπελάγους", Πειραιάς 25-26 Απριλίου 2002.

- Πελεκάση, Κ., Μ. Σκούρτος (1992): Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα. Εκδόσεις Παπαζήση, σ. 142.
- Paliatsos, A.G., Kaldellis, J.K. and Nastos, P.Th. (2002). "Assessment of air quality spatial distribution in the Greater Athens Area". *Proceedings of the International Conference on "Protection and Restoration of the Environment VI"*, Skiathos, July 1-5, 2002, 1849-1854, A.G. Kungolos, A.B. Liakopoulos, G.P. Korfiatis, A.D. Koutsospyros, K.L. Katsifarakis, A.C. Demetracopoulos (Eds.)
- Singapore Meteorological Service, 1995: Smoke haze over Singapore. Malaysia and Indonesia, *World Meteorological Organization*, 44, 2, 147-150.
- Thom, G.C. and W.R. Ott, 1976: A proposed uniform air pollution index. *Atmospheric Environment*, 10, 261-264.
- Τριανταφύλλου Α.Γ., Π. Κασσωμένος, Γ. Κάλλος, Δ.Ν. Ασημακόπουλος, 1994: Διασπορά αερίων ρύπων από σημειακές πηγές στο λεκανοπέδιο Αμυνταίου-Πτολεμαΐδας-Κοζάνης κατά τη χειμερινή περίοδο με αντικυκλωνική κυκλοφορία». *Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας-Φυσικής της Ατμόσφαιρας*, Θεσσαλονίκη, 187-197.
- Τριανταφύλλου Α.Γ., Π. Κασσωμένος, Γ. Κάλλος, 1995: Νυχτερινή μεταφορά ατμοσφαιρικών ρύπων στη βιομηχανική περιοχή Πτολεμαΐδας-Κοζάνης κατά τη θερμή περίοδο. *Πρακτικά 4ου Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας*, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μόλυβος Λέσβου, 72-84.
- Triantafyllou, A.G., A.G. Paliatsos, M. Voutsinas, and I. Zuburtikudis, 2002: Air quality assessment in an industrial area by using environmental indicators. Accepted for publication in *Fresenius Environmental Bulletin* (in press).
- Τριανταφύλλου, Α.Γ., Α.Γ. Παλιατσός, Μ. Βουτσινάς, 2002: Εκτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας βιομηχανικής περιοχής με περιβαλλοντικούς δείκτες. *Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας - Φυσικής της Ατμόσφαιρας*, Ιωάννινα, 25-28 Σεπτεμβρίου 2002. Τα πρακτικά θα δημοσιευθούν.
- Ζερεφός Χ., Ι. Ζιώμας, Α. Μπάης, Χ. Μελέτη, Δ. Μπαλής, Κ. Τουρπάλη, 1991: Προκαταρκτική μελέτη της αέριας ρύπανσης από διοξείδιο του θείου και αιωρούμενα σωματίδια στην κοιλάδα της Πτολεμαΐδας. Θεσσαλονίκη, σελ. 250.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	1
1. Εισαγωγή	2
2. Το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης	3
3. Εκτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας με χρήση περιβαλλοντικών δεικτών	6
3.1 Διοξείδιο του θείου	10
3.2 Αιωρούμενα σωματίδια	14
4. Περιγραφή της περιοχής	19
5. Ανάλυση δεδομένων	21
6. Συμπεράσματα	35
Βιβλιογραφία	37
Περιεχόμενα	39