

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

**ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ – ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΗ
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΤΥΠΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ**



Εισηγητής : Αθαν. Γ. Παλιατσός

**Σπουδαστές : Βαρβαρίγος Διονύσιος
Ζαρονικόλας Νικόλαος**

ΑΘΗΝΑ 2001

ΠΡΟΛΟΓΟΣ Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Ατμόσφαιρα είναι το αέριο περιβάλλον της γης που έχει μέσο πάχος 100 km και συγκροτείται με τη δύναμη της βαρύτητας. Είναι η ατμή του αερίων που έχει την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας (ΕΠΑ), με χρήση περιβαλλοντικών δεικτών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα και όζοντος. Συγκεκριμένα, για τη χρονική περίοδο 1990-1997, υπολογίζονται οι τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) και συγκρίνονται με τα όρια πίνακα αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας από τη διεθνή βιβλιογραφία. Μελετώνται επίσης οι τάσεις που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης στους σταθμούς του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ.

Η ανάθεση και η επίβλεψη της εργασίας έγινε από τον Δρα. Αθανάσιο Γ. Παλιασό, καθηγητή του Τ.Ε.Ι. Πειραιά, τον οποίο και ευχαριστούμε για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη του για την περάτωσή της.

Επίσης, από τη θέση αυτή επιθυμούμε να ευχαριστήσουμε τον Δρα. Λ. Βύρα, Τμηματάρχη της Διεύθυνσης της ΕΑΡΘ/ΥΠΕΧΩΔΕ, για τα στοιχεία που έθεσε στη διάθεσή μας, καθώς και για τις χρήσιμες συμβουλές.

Τέλος, επιθυμούμε να ευχαριστήσουμε τον Δρα. Παν. Νάστο, Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου Μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών, για τη βοήθειά του στη χάραξη των ισοπληθών του τυπικού δείκτη ρύπανσης.

1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Ατμόσφαιρα είναι το αέριο περίβλημα της γης που έχει μέσο πάχος 100 km και συγκρατείται με τη δύναμη της βαρύτητας. Είναι η πηγή του οξυγόνου (O_2) που είναι απαραίτητο για την αναπνοή των ανθρώπων και των ζώων, του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που είναι απαραίτητο για τη λειτουργία του μηχανισμού της φωτοσύνθεσης και του αζώτου (N_2) το οποίο με την επίδραση βακτηριδίων ή με την τεχνολογία του ανθρώπου δίνει κατάλληλες ενώσεις του αζώτου που είναι απαραίτητες για τη ζωή. Επίσης η ατμόσφαιρα είναι ο αποδέκτης των τεράστιων ποσοτήτων χημικών ουσιών που εκλύονται από τη γη, τόσο από φυσικές, όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Η ατμόσφαιρα μπορεί να χαρακτηριστεί σαν προστατευτικός μανδύας της γης διότι, αφενός μεν χρησιμεύει σαν χώρος ψύξης του κύκλου του ύδατος της γης συμπυκνώνοντας τους υδρατμούς που προέρχονται από την εξάτμιση των θαλάσσιων υδάτων και αποδίδοντάς τους ξανά σαν νερό στη γη. Αφετέρου δε, με απορρόφηση ορισμένων περιοχών του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας, προστατεύεται η ζωή στη γη. Τέλος, λόγω της απορρόφησης της ενέργειας που εκπέμπει η γη με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, η ατμόσφαιρα δρα σαν ρυθμιστικός παράγοντας της θερμότητας για τη γη.

Ενας πρώτος διαχωρισμός της ατμόσφαιρας είναι δυνατό να γίνει με βάση τη μεταβολή ή όχι της ατμοσφαιρικής σύστασης με το ύψος σε δύο μεγάλες περιοχές, την ομοιόσφαιρα και την ετερόσφαιρα και η διαχωριστική τους περιοχή βρίσκεται περίπου στο ύψος των 100 km. Η σύσταση της ομοιόσφαιρας εμφανίζεται στον Πίνακα 1.

Τα συστατικά της ομοιόσφαιρας κατατάσσονται σε τρία επίπεδα συγκέντρωσης: τα κύρια συστατικά με συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του 1%, τα δευτερεύοντα συστατικά

με συγκεντρώσεις από 0.01% μέχρι 1% και τέλος τα ιχνοσυστατικά με συγκεντρώσεις μικρότερες του 0.01%.

Στην ετερόσφαιρα η διάχυση και η μοριακή διάσπαση των ατμοσφαιρικών αερίων έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της ατμοσφαιρικής σύστασης με το ύψος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε αυξανόμενου του ύψους, το μέσο μοριακό βάρος του αέρα να ελαττώνεται.

Πίνακας 1. Μέση σύσταση της γήινης ατμόσφαιρας από το έδαφος μέχρι το ύψος των 100 Km.

Αέριο	Όγκος (%) ξηρού αέρα
Αζωτο (N ₂)	78.08
Οξυγόνο (O ₂)	20.95
Αργό (Ar)	0.93
Διοξείδιο του Ανθρακα (CO ₂)	0.03
Νέο (Ne)	0.0018
Ηλιο (He)	0.0005
Κρυπτό (Kr)	0.0001
Υδρογόνο (H ₂)	0.0005
Οζον (O ₃)	0.00006
Υδρατμοί (H ₂ O)	0-0.04

2. ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΕΡΑ

Ο ατμοσφαιρικός αέρας χαρακτηρίζεται σαν ρυπασμένος όταν η παρουσία ξένων ουσιών ή η μεταβολή της αναλογίας των συστατικών του μπορούν να δημιουργήσουν επιβλαβείς συνέπειες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον του.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση παρουσιάζεται και στις τρεις φυσικές καταστάσεις: στερεά (σκόνη), υγρή (σταγονίδια) και αέρια (CO, SO₂, H₂S, NO_x, κ.ά.).

3. ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Οι πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας διακρίνονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές.

α. Φυσικές πηγές. Ο ρυθμός έκλυσης, σε παγκόσμια κλίμακα, των αέριων ρύπων από την ίδια τη φύση με διάφορες φυσικές διεργασίες όπως η δραστηριότητα των ηφαιστειών, η αποσύνθεση των φυτών και των ζώων, το κάψιμο των δασών, οι εκπομπές ουσιών από τους ωκεανούς και η δραστηριότητα των βακτηριδίων στο έδαφος και τα ύδατα, παρέχουν στην ατμόσφαιρα διάφορα αέρια και σωματίδια που μεταβάλλουν τη σύστασή της και στη συνέχεια αποκαθίσταται μία φυσική ισορροπία, επιτρεπτή από το συνολικό οικοσύστημα. Οι εκπομπές από φυσικές πηγές, με βάση τις παραπάνω φυσικές διεργασίες έχουν σαν αποτέλεσμα, για ορισμένους βασικούς ρυπαντές και σε παγκόσμιο επίπεδο να είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές που προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Πίνακας 2. Εκτιμήσεις εκπομπών ορισμένων ρύπων σε παγκόσμια κλίμακα σε τόνους/έτος (Παλιατσός, 1999).

ΡΥΠΟΣ	ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ	ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΠΗΓΩΝ (τόνοι)	ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ (τόνοι)
SO ₂	Καύση άνθρακα και πετρελαίου	Ηφαιστεια	146 • 10 ⁶	
H ₂ S	Χημική κατεργασία/ επεξεργασία λυμάτων	Ηφαιστεια, Βιολογική δράση σε έλη	3 • 10 ⁶	100 • 10 ⁶
CO	Καυσαέρια αυτοκινήτων και άλλες καύσεις	Δασικές πυρκαγιές	275 • 10 ⁶	75 • 10 ⁶
NO- NO ₂	Καύση	Βακτηριολογική δράση	53 • 10 ⁶	NO 430 • 10 ⁶ NO ₂ 658 • 10 ⁶
-HC-	Καύση, χημικές διεργασίες	Βιολογικές διεργασίες	88 • 10 ⁶	480 • 10 ⁶
CO ₂	Καύση	Βιολογική δράση	1.4 • 10 ¹⁰	10 ¹²

β. Ανθρωπογενείς πηγές. Είναι αυτές που σχετίζονται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες όπως, τα μέσα μεταφοράς, οι βιομηχανίες, η θέρμανση, η παραγωγή ενέργειας, η καύση απορριμμάτων και άλλες. Οι ανθρωπογενείς πηγές διακρίνονται σε:

β₁. Κινητές πηγές. Σ' αυτές περιλαμβάνονται:

- Οχήματα: Η ρύπανση που προέρχεται από τα αυτοκίνητα αφορά τα προϊόντα της καύσης του καυσίμου που χρησιμοποιείται για την κίνηση και περιλαμβάνει υδρογονάνθρακες, μονοξείδιο του άνθρακα, οξειδία του αζώτου, σωματίδια και οξειδία του θείου.
- Αεροπλάνα: Οι εκπομπές είναι περίπου ίδιες με αυτές των οχημάτων, τόσο σε ποιότητα, όσο και σε ποσότητα, εκτός από αυτά που κινούνται με τουρμπίνες τα οποία έχουν μεγαλύτερη εκπομπή οξειδίων του αζώτου.
- Τραίνα, Πλοία: Εάν το χρησιμοποιούμενο από αυτά καύσιμο είναι το βαρύ πετρέλαιο, τότε εκπέμπονται σωματίδια, οξειδία του θείου και οξειδία του αζώτου.

β₂. Σταθερές πηγές. Χωρίζονται σε:

- Σημειακές: Έτσι χαρακτηρίζονται μεγάλες βιομηχανικές μονάδες όπως οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα διυλιστήρια, τα χαλυβουργεία κ.ά. Στον Πίνακα 3 εμφανίζονται οι χαρακτηριστικές σημειακές πηγές και οι κυριότεροι, κατά δραστηριότητα, εκπεμπόμενοι ρύποι.
- Επιφανειακές: Είναι οι πηγές που κάθε μια τους χωριστά δεν εκπέμπει σημαντική ποσότητα ρύπων, αλλά όλες μαζί συμμετέχουν στη ρύπανση μίας περιοχής. Η κεντρική θέρμανση των κατοικιών και όλων γενικά των κτιρίων, καθώς και οι διάφορες βιοτεχνίες που είναι διεσπαρμένες σε ολόκληρη την περιοχή δημιουργούν προβλήματα που επιδεινώνονται εξ αιτίας τόσο του ύψους από το οποίο γίνεται η εκπομπή, όσο και του γεωγραφικού και πολεοδομικού ανάγλυφου της περιοχής, καθώς και των μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή. Αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα να εμποδίζεται η επαρκής διάχυση και αραίωση των διαφόρων ρύπων.

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικές σημειακές πηγές (Παλιατσός, 1999).

ΠΗΓΕΣ	ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΡΥΠΟΙ
Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	Σωματίδια, SO _x , NO _x , HC-
Διυλιστήρια	HC-, CO, SO _x , NO _x , οσιμές, σωματίδια.
Εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου	Σωματίδια, SO _x , NO _x
Χαλυβουργεία	Σωματίδια, CO, SO _x , NO _x , HC-
Υαλουργεία	Φθοριούχα, NO _x , SO _x
Εργοστάσια παραγωγής λιπασμάτων	Σωματίδια, NH ₃ , SO _x , φθοριούχα, αζωτούχα.

4. ΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Ρύπος είναι κάθε ουσία που προστίθεται άμεσα ή έμμεσα στην ατμόσφαιρα από φυσικές ή ανθρώπινες δραστηριότητες, σε ποσότητες ικανές να επηρεάσουν τη δομή, τα χαρακτηριστικά ή τα φαινόμενα της ατμόσφαιρας. Οι ρύποι διακρίνονται, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο παράγονται, σε πρωτογενείς και δευτερογενείς.

Πρωτογενείς είναι οι ρύποι που εκπέμπονται απ' ευθείας από τις διάφορες πηγές στην ατμόσφαιρα (π.χ. ο καπνός, το διοξείδιο του θείου, το μονοξείδιο του άνθρακα).

Δευτερογενείς είναι οι ρύποι που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς, είτε με χημικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, είτε με την επίδραση των συστατικών της ατμόσφαιρας, όπως π.χ. η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η υγρασία.

Μία άλλη διαίρεση των ρύπων είναι αυτή που τους διαχωρίζει σε σταθερούς και ασταθείς. Σταθεροί ρύποι είναι αυτοί που δεν συμμετέχουν σε χημικές ή φωτοχημικές αντιδράσεις (π.χ. το CO, το CO₂, το CH₄), ενώ ασταθείς είναι αυτοί που συμμετέχουν σε χημικές ή φωτοχημικές αντιδράσεις.

Πίνακας 4. Τυπικοί χρόνοι παραμονής των αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα (Ζερεφός, 1984).

ΑΕΡΙΟΣ ΡΥΠΟΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ
CO ₂	≈ 4 χρόνια
CO	≈ 0.3 χρόνια
CH ₄	≈ 100 χρόνια
NO ₂	≈ 5 ημέρες
O ₃	≈ 2 χρόνια
SO ₂	≈ 5 ημέρες
H ₂ S	≈ 4 ημέρες

Κάθε αέριος ρύπος χαρακτηρίζεται και από τον χρόνο παραμονής του στην ατμόσφαιρα και στον Πίνακα 4 εμφανίζονται οι κατά ρύπο τυπικοί αυτοί χρόνοι.

5. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Είναι ένας από τους κυριότερους ρύπους της ατμόσφαιρας. Στη φύση, το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται κυρίως από την αντίδραση της ρίζας του υδροξυλίου με το μεθάνιο που παράγεται κατά την αποσύνθεση οργανικών ουσιών, από τη βακτηριακή δράση στους ωκεανούς, κατά τις δασικές πυρκαγιές και δευτερευόντως από τα ηφαίστεια, τις ηλεκτρικές εκκενώσεις που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια των καταιγίδων και τη διαφυγή φυσικών αερίων από τη γη. Υπολογίζεται ότι από την αντίδραση του μεθανίου με τη ρίζα του υδροξυλίου παράγονται περίπου $3 \cdot 10^{12}$ Kg/έτος μονοξειδίου του άνθρακα, ενώ από τη βακτηριακή δράση στους ωκεανούς παράγονται περίπου 10^{11} Kg/έτος.

Κύρια ανθρωπογενής πηγή του, στις αστικές περιοχές, είναι τα συμβατικής τεχνολογίας βενζινοκίνητα αυτοκίνητα, ενώ δευτερεύουσα πηγή είναι η καύση πετρελαίου για κεντρική θέρμανση. Σε παγκόσμια κλίμακα υπολογίζεται ότι από τις ανθρώπινες δραστηριότητες εκλύονται στην ατμόσφαιρα ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα της τάξης των $7 \cdot 10^9$ Kg/έτος. Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ο πιο χημικά αδρανής ρύπος στην ατμόσφαιρα και η συγκέντρωσή του διαρκώς ελαττώνεται λόγω

της οξείδωσης του σε CO₂ από την ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα ο χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα να είναι πολύ μικρός.

Οπότε το μονοξείδιο του άνθρακα σε αρρύπαντη ατμόσφαιρα βρίσκεται σε μικρές συγκεντρώσεις της τάξης του 0.1 ppm, ενώ αντίθετα σε ρυπασμένες περιοχές, όπως σε στενές και χωρίς καλό αερισμό λεωφόρους, οι συγκεντρώσεις του μπορούν να ξεπεράσουν τα 50 ppm.

Στον άνθρωπο η επίδραση του μονοξειδίου του άνθρακα γίνεται εμφανής όταν οι συγκεντρώσεις του στην ατμόσφαιρα υπερβούν κάποια όρια.

Πίνακας 5. Σχέσεις των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα, σε κλειστούς χώρους, με τα εμφανιζόμενα συμπτώματα σε άτομα (Παλιατσός, 1999).

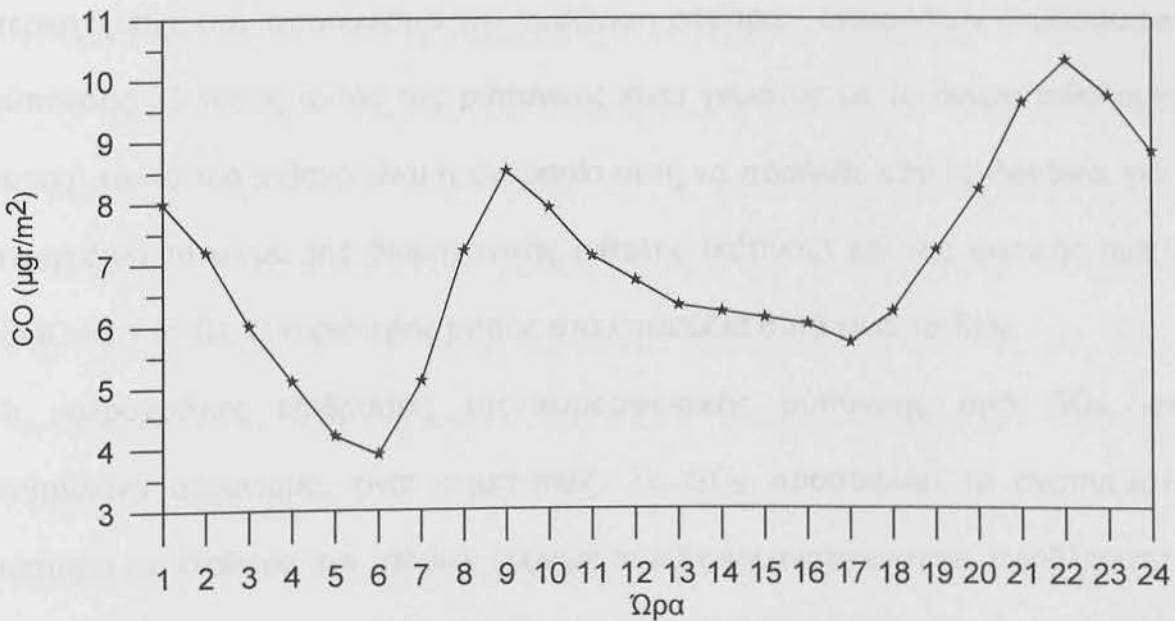
CO (ppm)	ΕΜΦΑΝΙΖΟΜΕΝΑ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΣΕ ΑΤΟΜΑ
<10	Πρώτα συμπτώματα στη συμπεριφορά.
10-30	Προσβολή του κεντρικού νευρικού συστήματος, διαταραχές στην όραση και τις κινήσεις.
31-60	Καρδιακές και πνευμονικές διαταραχές.
61-3000	Πονοκέφαλος, κόπωση, κώμα, αδυναμία αναπνοής

Το μονοξείδιο του άνθρακα με την αναπνοή εισέρχεται μέσω του αναπνευστικού συστήματος και ενώνεται με την αιμοσφαιρίνη του αίματος σχηματίζοντας τη χημική ένωση ανθρακυλαιμοσφαιρίνη, η οποία παρεμποδίζει την ικανότητα της αιμοσφαιρίνης για μεταφορά του οξυγόνου στους ιστούς του σώματος, με αποτέλεσμα να προκαλείται δηλητηρίαση του οργανισμού με διάφορα συμπτώματα.

Οι Viras και Siskos (1992) υπολόγισαν τη συνεισφορά των πηγών εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα για το έτος 1985, για την περιοχή της Αθήνας, η οποία κατανέμεται σχεδόν 100% τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα και σχεδόν 0% στη λειτουργία συστημάτων θέρμανσης. Επίσης οι Alexopoulos et al. (1993) υπολόγισαν τη συνεισφορά εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα ανά κατηγορία οχήματος κατά τη διάρκεια μιας τυπικής ημέρας της εβδομάδας και η οποία είναι 85.5% από τα

ιδιωτικής χρήσης επιβατικά, 6.4% από μοτοσυκλέτες, 3.5% από φορτηγά, 2.7% από λεωφορεία και 1.9% από ταξί.

Όπως λοιπόν προαναφέρθηκε, κύρια ανθρωπογενής πηγή του μονοξειδίου του άνθρακα σε αστικές περιοχές όπως η Αθήνα, είναι αποκλειστικά η κυκλοφορία των συμβατικής τεχνολογίας βενζινοκίνητων αυτοκινήτων (επιβατικά ιδιωτικής χρήσης, μοτοσυκλέτες και ελαφρά φορτηγά) (Viras et al., 1996). Στο Σχήμα 1 εμφανίζεται η μέση ημερήσια πορεία της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα, στον πιο αντιπροσωπευτικό σταθμό για το συγκεκριμένο ρύπο. Στο σχήμα αυτό εμφανίζεται η συσχέτιση των μεταβολών της συγκέντρωσης με τις μεταβολές της κυκλοφορίας, η οποία σχετίζεται με την εμπορική και κοινωνική δραστηριότητα της περιοχής στην οποία είναι εγκατεστημένος ο σταθμός αυτός.



Σχήμα 1. Μέση ημερήσια πορεία των συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα στο σταθμό "Πατησίων" κατά τη διάρκεια της περιόδου 1986–1994 (Viras et al., 1996).

6. 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, ποσότητα που είναι ίση με την 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 SO_2 .

Οι μακροχρόνιες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από SO_2 , στον ανθρώπινο οργανισμό, είναι σημαντικές. Το SO_2 προσβάλλει το αναπνευστικό σύστημα και ιδιαίτερα των ατόμων εκείνων που έχουν αναπνευστικά προβλήματα και υποφέρουν ιδιαίτερα όταν βρεθούν σε περιβάλλον με υψηλές συγκεντρώσεις SO_2 . Η επίδραση της συγκέντρωσης του SO_2 στον άνθρωπο φαίνεται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6. Επιδράσεις του διοξειδίου του θείου στην υγεία των ανθρώπων (Βασιλικιώτης, 1981).

SO₂ (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 καθώς και χαμηλές 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 θερμοκρασιακής αναστροφής σημειώθηκε "παγίδευση" ρύπων από την καύση άνθρακα και προκλήθηκε ο θάνατος 63 ατόμων, επιπλέον του κανονικού, καθώς και πολλών ζώων. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε στις 26-31/10/1948 στη Donra της Πενσυλβανίας (ΗΠΑ) όπου το 40% του πληθυσμού της περιοχής είχε αναπνευστικά προβλήματα και προκλήθηκε ο θάνατος 20 ατόμων, επιπλέον του κανονικού. Στις 24/11/1950 στην Poca Rica, στο Μεξικό, σημειώθηκε επεισόδιο αιθαλομίχλης, με επιπτώσεις το θάνατο 22 ατόμων επιπλέον του κανονικού 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, 700 επιπλέον θάνατοι), όσο και στη Νέα Υόρκη (11/1953 και 24-30/6/1966 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 $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 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 του νερού 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 ηφαιστείων, είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και προκαλούν την αύξηση του στρώματος των σωματιδίων της στρατόσφαιρας, με συνέπεια την αύξηση της απορροφούμενης ακτινοβολίας στη στρατόσφαιρα. Σαν αποτέλεσμα θα έχουμε τη στρατοσφαιρική θέρμανση και τη μείωση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης.

Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι κατά την έκρηξη του ηφαιστείου Pinatubo (12-16/6/91), στο νησί Λουσών των Φιλιππίνων, η συνολικά εκτοξευθείσα ποσότητα του διοξειδίου του θείου έφτασε τους $18 \cdot 10^6$ τόνους και έφτασε στη στρατόσφαιρα.

7. 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 $2 \cdot 10^{-3} - 200$ 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 δραστικότητα των συστατικών κάθε φάσης.

Η παρουσία των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα οφείλεται σε φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής. Σε παγκόσμια κλίμακα υπερτερούν οι εκπομπές από φυσικές πηγές (ωκεανοί, έδαφος, ηφαίστεια, 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 αυτό 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 $0.1-1 \mu\text{m}$.

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 $0.2-2.5 \mu\text{m}$ που σχηματίζονται από τα σωματίδια της περιοχής πυρήνωσης με συσσωμάτωση ή συμπύκνωση ατμών. Τα σωματίδια των περιοχών πυρήνωσης και συσσώρευσης ($d < 2.5 \mu\text{m}$) ονομάζονται και μικρά σωματίδια.

- Περιοχή μεγάλων σωματιδίων: αποτελείται από σωματίδια με $d > 2.5 \mu\text{m}$ 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, αντανακλά 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 (στερεό 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 μέγεθός τους. Έτσι, σε ρυπασμένες αστικές περιοχές, τα μικρά σωματίδια μπορεί να περιέχουν μέχρι και 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 $<0.1 \text{ mmHg}$ στους $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 $0.1 - 0.2 \mu\text{m}$ 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 τη ξηρή απόθεση των αερίων. Η ταχύτητα απόθεσης των θειικών 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 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 (ρινοφάρυγγας) 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.

Μία τυπική κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων είναι σε εισπνεύσιμα, θωρακικά και αναπνεύσιμα, ανάλογα με τη διάμετρό τους. Για σωματίδια με διάμετρο $10 \mu\text{m}$, 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 $2.5 \mu\text{m}$ 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 ημίσεια ζωή τους κυμαίνεται από ημέρες μέχρι χρόνια, ανάλογα με τη χημική τους σύσταση.

Μακροχρόνια εισπνοή σωματιδίων προκαλεί διάφορες μορφές πνευμονοκονιάσεων, 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 προκαλούν πολλές φορές και

αλλεργικές αντιδράσεις όπως για παράδειγμα η βισίνωση που προκαλείται από τη σκόνη 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, μεσοθηλίωμα ή καρκίνος των πνευμόνων. Περισσότερο επικίνδυνες θεωρούνται οι ίνες με μήκος >5 μm , πλάτος <3 μm 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 ότι η καύση πετρελαίου. Υψηλές σωματιδιακές εκπομπές έχει, επίσης, η καύση βιομάζας, ξύλου και κάρβουνου, ενώ το υγραέριο και η κηροζίνη χαρακτηρίζονται από σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές.

8. ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Με τον όρο οξειδία του αζώτου (NO_x) ορίζονται το μονοξείδιο (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) που αλληλοσχηματίζονται στην ατμόσφαιρα. Το οξείδιο του αζώτου είναι άχρωμο και άοσμο αέριο, ενώ το διοξείδιο του αζώτου είναι αέριο ερυθροκαστανού χρώματος και έχει διαπεραστική οσμή.

Η σημασία των οξειδίων του αζώτου για την ατμόσφαιρα, μόλις στην αρχή της δεκαετίας του 1970 άρχισε να γίνεται γνωστή και προκάλεσε αναστάτωση, γιατί συνέπεσε με την προσπάθεια που γινόταν εκείνη την εποχή, για την κατασκευή εμπορικών υπερηχητικών αεροπλάνων που πετούσαν στη στρατόσφαιρα (Concorde και Turoliev). Οι μετρήσεις έδειξαν ότι οι εκπομπές του NO που προέρχονται από τους κινητήρες αυτών των αεροπλάνων, οι οποίοι λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες, είναι δυνατόν να προκαλούν τη ρύπανση της στρατόσφαιρας.

Η παραγωγή των οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα γίνεται κατά κύριο λόγο στην τροπόσφαιρα τόσο από φυσικές, όσο και από ανθρωπογενείς πηγές. Στις φυσικές πηγές περιλαμβάνονται η μικροβιολογική δραστηριότητα του εδάφους, οι αστραπές καθώς και η φωτόλυση νιτρικών αλάτων στην επιφάνεια των ωκεανών. Στις ανθρωπογενείς πηγές περιλαμβάνονται η καύση ορυκτών καυσίμων, οι βιομηχανικές κατεργασίες, η καύση της βιομάζας. Οι κυριότερες όμως ανθρωπογενείς πηγές των NO_x είναι τα αυτοκίνητα και τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας.

Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι στην Αθήνα, το έτος 1983, έγινε υπολογισμός της συμμετοχής των αυτοκινήτων στην παραγωγή των NO_x που ήταν 50%, της βιομηχανίας 28%, της κεντρικής θέρμανσης 2% και του ΑΗΣ (Ατμοηλεκτρικού Σταθμού) Κερατσινίου 20%. Γενικά όμως, οι συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου στις πόλεις είναι 10-100 φορές μεγαλύτερες από ότι στην ύπαιθρο, αν και οι μεγαλύτερες ποσότητες NO που εκλύονται στην ατμόσφαιρα προέρχονται από τη δράση των βακτηριδίων του εδάφους.

Η πιο σπουδαία πηγή εκπομπής ποσοτήτων NO είναι το αυτοκίνητο, επειδή στους κινητήρες εσωτερικής καύσης αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες κατά τη λειτουργία τους. Ας σημειωθεί ότι το 1/15 του ολικού NO που εκλύεται στην ατμόσφαιρα προέρχεται από ανθρώπινες δραστηριότητες.

Ένα από τα κύρια προβλήματα που δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα από την παρουσία των οξειδίων του αζώτου, είναι ο σχηματισμός διαφόρων οξειδωτικών ουσιών που δημιουργούν τη φωτοχημική αιθαλομίχλη.

Τυπική φωτοχημική αιθαλομίχλη σχηματίζεται σε ζεστό, ηλιόλουστο καιρό και χαρακτηρίζεται από ομίχλη, σχηματισμό όζοντος, ερεθισμό των ματιών και καταστροφή της βλάστησης.

Από το οξείδια του αζώτου, πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι το NO_2 είναι 4 φορές πιο τοξικό από το NO . Θάνατοι ανθρώπων από NO δεν έχουν αναφερθεί, αλλά υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος οξειδωσής του σε NO_2 . Το NO_2 που είναι τοξικό αέριο, προσβάλλει τους πνεύμονες και προκαλεί πνευμονικό οίδημα. Όταν η συγκέντρωσή του υπερβαίνει τα 100 ppm γίνεται θανατηφόρα για τα περισσότερα ζώα και το 90% των θανάτων τους προέρχεται από πνευμονικό οίδημα. Για τον άνθρωπο, η έκθεσή του σε συγκεντρώσεις NO_2 της τάξης των 100 ppm για χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από λίγα λεπτά μέχρι μία ώρα, προκαλεί έντονο ερεθισμό στους

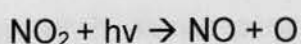
πνεύμονες που διαρκεί 6-8 εβδομάδες. Η έκθεση όμως του ανθρώπου σε συγκεντρώσεις NO_2 της τάξης των 150-200 ppm, προκαλεί συνήθως θάνατο.

Η επίδραση των οξειδίων του αζώτου είναι σημαντική και στα φυτά. Όταν αυτά εκτεθούν σε ατμόσφαιρα με υψηλές συγκεντρώσεις NO_2 , εμφανίζουν κηλίδες στα φύλλα τους οι οποίες μπορεί να εξελιχθούν σε σημεία νέκρωσης. Αυτό συμβαίνει όταν, τόσο η συγκέντρωση, όσο και ο χρόνος έκθεσης των φυτών σε τέτοιες συγκεντρώσεις, υπερβούν κάποια όρια.

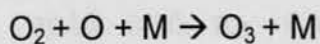
Το διοξείδιο του αζώτου μετασχηματίζεται, στην ατμόσφαιρα, σε HNO_3 (νιτρικό οξύ) που είναι ισχυρό οξύ. Προκαλεί διάβρωση των μεταλλικών κατασκευών και νιτροποίηση των μαρμάρων των μνημείων, με αποτέλεσμα την αποσάθρωσή τους.

9. OZON

Το όζον είναι ένας από τους δευτερογενείς ρύπους της ατμόσφαιρας. Είναι αέριο, άχρωμο, βαρύτερο του αέρα με δριμεία οσμή (όριο οσμής 0.02 – 0.05 mgr/kg) και με ισχυρή οξειδωτική δράση. Η χημική αντίδραση του σχηματισμού του βασίζεται στη φωτόλυση του NO_2 σε μήκη κύματος $\lambda < 380 \text{ nm}$.



Το ατομικό οξυγόνο (O) αντιδρά πολύ γρήγορα με το οξυγόνο (O_2) του αέρα για να σχηματιστεί όζον (O_3).



όπου M είναι το τρίτο μόριο. Στη συνέχεια το παραγόμενο όζον υπεισέρχεται σε ολόκληρη σειρά φωτοχημικών αντιδράσεων στις οποίες μεγάλη σημασία έχουν και οι εκλυόμενοι υδρογονάνθρακες.

Ο μηχανισμός των χημικών αντιδράσεων για το σχηματισμό της φωτοχημικής ρύπανσης είναι πολυσύνθετος και πολύπλοκος. Η δημιουργία φωτοχημικών

αντιδράσεων υπεραπλουστευμένα γίνεται ως εξής: το NO_2 διασπάται από την ηλιακή ακτινοβολία σε NO και δραστικό ατομικό οξυγόνο (O), το οποίο με τη σειρά του αντιδρά με το μοριακό οξυγόνο του αέρα (O_2) και δίνει το O_3 . Στη συνέχεια το όζον, αν δεν παρεμβληθούν άλλοι παράγοντες, οξειδώνει το NO σε NO_2 . Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας "κύκλος" χημικών αντιδράσεων που παραμένει μόνο όσο οφείλεται στις διαφορετικές ταχύτητες αντίδρασης. Ο κύκλος αυτών των αντιδράσεων διακόπτεται από την παρουσία των υδρογονανθράκων, κατά κύριο λόγο, οι οποίοι συνυπάρχουν στο αστικό περιβάλλον. Οι υδρογονάνθρακες αντιδρούν με το ατομικό οξυγόνο ταχύτερα και παράγουν ρίζες και χημικές ενώσεις που αντιδρούν με το NO και το μετατρέπουν σε NO_2 . Έτσι συσσωρεύεται το όζον.

Οι παραπάνω διαδικασίες του συστήματος $\text{NO-NO}_2\text{-O}_3$ δημιουργούν τη λεγόμενη φωτοχημική αιθαλομίχλη η οποία οφείλεται στην έντονη απορρόφηση του κυανού και κίτρινου τμήματος του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας από το NO_2 .

Το όζον σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κατά τη διάρκεια του απογεύματος ο σχηματισμός οξειδωτικών αρχίζει να επιβραδύνεται και κατά τη διάρκεια της νύχτας όλες οι φωτοχημικές αντιδράσεις σταματούν. Στις αστικές περιοχές το όζον που έχει σχηματισθεί καταστρέφεται, όταν αντιδρά με το NO που εκπέμπεται από τα αυτοκίνητα. Στις μη αστικές περιοχές, όπου δεν έχουμε εκπομπή NO , το όζον καταστρέφεται δραστικά κατά την επαφή του με την επιφάνεια της γης. Η διεργασία αυτή εξαρτάται πολύ από τον τύπο της γήινης επιφάνειας. Η καταστροφή του όζοντος είναι μεγαλύτερη κατά την επαφή του με την ξηρά από ότι με τη θάλασσα ή το χιόνι. Επίσης, λόγω αραίωσης, οι συγκεντρώσεις του όζοντος μικραίνουν. Η εποχική μεταβολή του όζοντος συνίσταται στην εμφάνιση ενός καλοκαιρινού μεγίστου και ενός χειμερινού ελαχίστου.

Η εποχική μεταβολή του όζοντος είναι απ' ευθείας ανάλογη της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του αέρα. Η αναμενόμενη αυτή πορεία του όζοντος όμως είναι δυνατόν να διαταραχθεί από άλλες αιτίες.

Από επιστημονικές παρατηρήσεις έχουν αναφερθεί υψηλές τιμές για το Μάρτιο του 1974 και του 1977, οι οποίες αποδίδονται στα καθαρά δυναμικά φαινόμενα της ατμόσφαιρας οπότε αέριες μάζες, μεγάλης περιεκτικότητας σε όζον, εισήλθαν από τη στρατόσφαιρα με τη βοήθεια αεροχειμμάρων από τα χάσματα της τροπόπαυσης. Το όζον ακολουθεί αντιστρόφως ανάλογη πορεία όσον αφορά τα μέγιστα και τα ελάχιστα των NO_x . Το ελάχιστο των συγκεντρώσεών του εμφανίζεται το καλοκαίρι στις 7:00 το πρωί, ενώ το χειμώνα στις 9:00. Η φωτοχημική παραγωγή του το καλοκαίρι διαρκεί μέχρι τις 12:00 και ακολουθείται από μία περίοδο κατά την οποία οι υψηλές συγκεντρώσεις του αερίου παραμένουν αμετάβλητες μέχρι τις 18:00. Το χειμώνα δεν παρατηρείται έντονη φωτοχημική παραγωγή, όπως αναμένεται.

Οι επιφανειακές συγκεντρώσεις των NO_x και του O_3 έχουν άμεση σχέση όχι μόνο με τις φωτοχημικές διεργασίες της ατμόσφαιρας, αλλά και με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή.

10. ΥΔΡΟΓΟΝΑΘΡΑΚΕΣ

Οι υδρογονάνθρακες θεωρούνται ότι είναι σημαντικοί ρυπαντές της ατμόσφαιρας επειδή συνδυάζονται με τα φωτοχημικά οξειδωτικά. Με τον όρο υδρογονάνθρακες (HC) εκφράζονται χιλιάδες ενώσεων που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο και οι πιο επιβλαβείς από αυτούς είναι οι αέριοι υδρογονάνθρακες και οι πτητικοί (δηλαδή οι υδρογονάνθρακες εκείνοι που εισερχόμενοι στην ατμόσφαιρα μπορούν να παραμείνουν σ' αυτή για τόσο χρονικό διάστημα, όσο χρειάζεται για να πάρουν

μέρος σε φωτοχημικές αντιδράσεις), επειδή στην αέρια κατάστασή τους μπορούν να φθάσουν στην ατμόσφαιρα.

Οι υδρογονάνθρακες στην ατμόσφαιρα προέρχονται τόσο από φυσικές διεργασίες, όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Οι κυριότερες πηγές υδρογονανθράκων που προέρχονται από φυσικές διεργασίες, είναι:

α₁. Η βιολογική αποσύνθεση φυσικών και ζωικών οργανισμών.

α₂. Η φυσική έκλυση από φυσικές πηγές αερίων και υγρών υδρογονανθράκων.

α₃. Τα φυτά που εκλύουν μεγάλες ποσότητες.

α₄. Οι βιολογικές και γεωθερμικές διεργασίες όπως π.χ. τα ηφαίστεια που τροφοδοτούν την ατμόσφαιρα με μεθάνιο.

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς δραστηριότητες, που αποδίδουν στην ατμόσφαιρα υδρογονάνθρακες, είναι:

β₁. Οι διαρροές ή οι απώλειες που συμβαίνουν τόσο κατά τη μεταφορά πετρελαιοειδών με δεξαμενόπλοια ή με βυτία μεταφοράς υγρών καυσίμων, όσο και κατά την αποθήκευσή τους σε υπαίθριες δεξαμενές και σε δεξαμενές πρατηρίων διακίνησης υγρών καυσίμων.

β₂. Κύρια πηγή διαφυγής υδρογονανθράκων, στις πόλεις, είναι το αυτοκίνητο.

Επίσης, διαφυγή υδρογονανθράκων παρατηρείται κατά την παρασκευή, διακίνηση και χρήση οργανικών διαλυτών.

Αποτέλεσμα όλων αυτών των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, είναι ο εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας των πόλεων με σημαντικές ποσότητες υδρογονανθράκων. Θα πρέπει να τονιστεί ότι στο πρόβλημα της φωτοχημικής αιθαλομίχλης, σημαντικό ρόλο στη δημιουργία της παίζουν η παρουσία των NO-NO₂-O₃ 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 (σε συγκεντρώσεις 0.5 mg/kg), ακόμη δε μεταβολή του ρυθμού των καρδιακών παλμών (σε συγκεντρώσεις 0.3 mg/kg). Επίσης, προκαλεί καταστροφή των φύλλων των νεαρών φυτών (σε συγκεντρώσεις 0.01 mg/kg).

Ο λόγος που οδήγησε στην ανακάλυψη του PAN στη δεκαετία του 1950 ήταν η προσπάθεια να βρεθεί εκείνο το συστατικό της φωτοχημικής αιθαλομίχλης που προκαλούσε το κιτρίνισμα των φύλλων σε διάφορα καλλιεργήσιμα είδη που βρίσκονταν στο λεκανοπέδιο του Los Angeles. Από έρευνες που έχουν γίνει, έχει διαπιστωθεί ότι τα τελευταία χρόνια η αύξηση της συχνότητας του καρκίνου του δέρματος συνδέεται με την αύξηση των συγκεντρώσεων του PAN και άλλων φωτοοξειδωτικών. Γενικά, επειδή τα φυτά είναι αρκετά ευαίσθητα στο PAN και το O₃, είναι δυνατό να χρησιμεύουν σαν δείκτες φωτοχημικής ρύπανσης μιας περιοχής, μετά από παρατήρηση των εμφανιζόμενων "τραυμάτων" πάνω στα φύλλα τους.

11. 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 Σύβαρης (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 υπολογίσθηκε από τους θανάτους που σημειώθηκαν πέραν του κανονικού για το μήνα αυτό. Ανάλογο πρόβλημα εμφανίσθηκε 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). 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 εμφανίσθηκε 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 $\text{NO-NO}_2\text{-O}_3$ και οι χημικές αντιδράσεις με υδρογονάνθρακες.

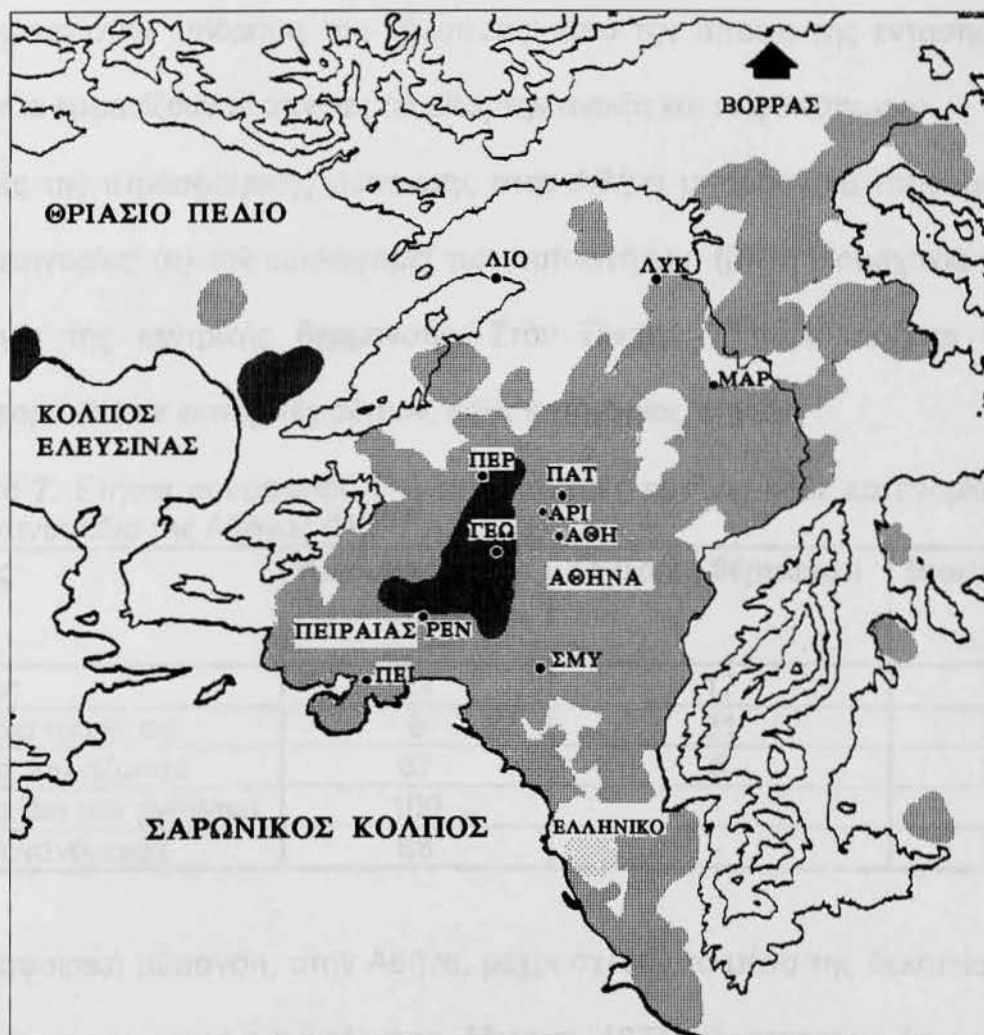
Για τη σωστότερη αποτίμηση της ποιότητας του αέρα σε αστική περιοχή έχει εισαχθεί η χρήση περιβαλλοντικών δεικτών (Thom et al., 1976; Boubel et al., 1994) που για τον υπολογισμό των τιμών τους χρησιμοποιούνται οι συγκεντρώσεις όλων σχεδόν των ατμοσφαιρικών ρύπων (NO_2 , SO_2 , O_3 καθώς και TSP).

12. Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ

Στην Αθήνα, από το 1973 άρχισαν να εμφανίζονται επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης που συνδέονται με την παρουσία του "νέφους" της Αθήνας. Τα επεισόδια αυτά, μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του '80, χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές συγκεντρώσεων καπνού και διοξειδίου του θείου σε ημέρες που επικρατούν δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες στην Ευρύτερη Περιοχή της Αθήνας (ΕΠΑ) (Τσελεπιδάκι κ.ά., 1983; Katsoulis, 1988). Τα αίτια σχηματισμού αυτού του "νέφους" είναι, για μεν το χειμώνα τα SO_x , τα NO_x , ο καπνός και τα αιωρούμενα σωματίδια, για δε το υπόλοιπο διάστημα του έτους το O_3 , τα NO_x και τα αερολύματα που δημιουργούνται από τη φωτοχημική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας επί των υδρογονανθράκων και των οξειδίων του αζώτου. Οι εκπομπές από την κυκλοφορία

καθώς και τη βιομηχανία παίζουν σπουδαίο ρόλο στο σχηματισμό του "νέφους", ενώ ο ρόλος της κεντρικής θέρμανσης περιορίζεται μόνο κατά τη διάρκεια του χειμώνα. 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), όσον αφορά το όζον και τα οξειδία του αζώτου (Mantis et al., 1992; Ziomas et al., 1995). 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 ΕΠΑ (Katsouyanni et al., 1993), μιας περιοχής που κατοικείται τα τελευταία χρόνια από το 1/3 του συνολικού πληθυσμού της χώρας, με μεγάλη πυκνότητα κτιριακών συγκροτημάτων, με στενούς δρόμους και έλλειψη σε χώρους πρασίνου και εμφανίζει μεγάλη εμπορική και βιομηχανική δραστηριότητα, με αποτέλεσμα η αντιμετώπιση των επεισοδίων ρύπανσης που εμφανίζονται σε αυτήν να είναι αρκετά δύσκολο έργο. Η Αθήνα βρίσκεται στο Λεκανοπέδιο της Αττικής, σε μία περιοχή με σχετικά μικρή έκταση (περίπου 450 km²) που είναι διατεταγμένη στον ΒΑ άξονα και περικλείεται από τα βουνά της Πάρνηθας, του Υμηττού, της Πεντέλης και του Αιγάλεω, ενώ η νότια πλευρά της ορίζεται από τον Σαρωνικό κόλπο (Σχήμα 2). Μεταξύ των βουνών υπάρχουν μικρά φυσικά γεωγραφικά ανοίγματα, όπως υπάρχουν και κάποιοι λόφοι με σημαντικότερους την Ακρόπολη και τον Λυκαβηττό. Σαν επακόλουθο της ύπαρξης αυτού του ορεινού όγκου γύρω από το Λεκανοπέδιο της Αθήνας, είναι η δημιουργία φυσικού φράγματος στη διασπορά των ρύπων και έτσι η μόνη διέξοδος είναι αυτή προς τη θάλασσα. Από την άποψη της διεύθυνσης οι επικρατέστεροι άνεμοι που πνέουν στο Λεκανοπέδιο είναι οι Βόρειοι, σημαντικοί όμως είναι και οι νότιοι και νοτιοδυτικοί άνεμοι που αποδίδονται στην επίδραση της θάλασσας. Από την άποψη

της έντασης, μεγάλη συχνότητα εμφανίζουν οι άπνοιες (κυρίως την άνοιξη και το φθινόπωρο).



Σχήμα 2. Χάρτης της Ευρύτερης Περιοχής της Αθήνας με τους σταθμούς συνεχούς παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Το κλίμα της Αθήνας είναι μεσογειακού τύπου με υγρούς-ήπιους χειμώνες και θερμά-ξηρά καλοκαίρια. Η μέση θερμοκρασία του αέρα είναι 10 °C το χειμώνα και 26 °C το καλοκαίρι. Το μεσογειακού τύπου κλίμα χαρακτηρίζεται από έλλειψη βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους. Για το λόγο αυτό, από το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης που είναι 390 mm, το περισσότερο πέφτει το μήνα Οκτώβριο και κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών. Η μέση ημερήσια διάρκεια

ηλιοφάνειας κυμαίνεται μεταξύ 4.5 ωρών τον Ιανουάριο και 12 ωρών τον Ιούλιο. Από την άποψη της διεύθυνσης οι επικρατέστεροι άνεμοι που πνέουν στο Λεκανοπέδιο είναι οι βόρειοι, σημαντικοί όμως είναι και οι νότιοι και νοτιοδυτικοί άνεμοι που αποδίδονται στην επίδραση της θάλασσας. Από την άποψη της έντασης, μεγάλη συχνότητα εμφανίζουν οι άπνοιες (κυρίως την άνοιξη και το φθινόπωρο).

Οι πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Αθήνα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: (α) την κυκλοφορία των αυτοκινήτων, (β) τη βιομηχανία και (γ) τη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης. Στον Πίνακα 7 παρουσιάζεται η ετήσια συνεισφορά (%) σε εκπομπές ρύπων, κάθε κατηγορίας πηγών.

Πίνακας 7. Ετήσια συνεισφορά (%) σε εκπομπές ρύπων, κάθε κατηγορίας πηγών στο Λεκανοπέδιο της Αθήνας (ΠΕΡΠΑ, 1989).

Ρύπος	Κυκλοφορία Αυτοκινήτων	Κεντρική θέρμανση	Βιομηχανία
Καπνός	64	17	19
Διοξείδιο του θείου	8	21	71
Οξείδια του αζώτου	67	5	28
Μονοξείδιο του άνθρακα	100	-	-
Υδρογονάνθρακες	68	-	32

Η ατμοσφαιρική ρύπανση, στην Αθήνα, μέχρι σχεδόν το μέσο της δεκαετίας του '70 παρουσίασε σημαντική ανοδική τάση. Μετά το 1977 παρατηρούμε ότι μειώνεται ο ετήσιος αριθμός επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης τόσο από καπνό, όσο και από διοξείδιο του θείου, με αποτέλεσμα η ατμοσφαιρική ρύπανση να εμφανίζει πτωτική τάση (Τσελεπιδάκι κ.ά., 1983; Kambezidis et al., 1986, 1988; Tselepidaki et al., 1991; Παλιατσός, 1999). Η πτωτική αυτή τάση είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής μιας σειράς επιτυχών μέτρων βελτίωσης της ποιότητας των χρησιμοποιούμενων καυσίμων που έλαβε η Ελληνική Πολιτεία (Πίνακας 8).

Για την Αθήνα, εκτός της τοπογραφίας και των ισχυρών πηγών ρύπανσης, το κλίμα της περιοχής ευνοεί την εμφάνιση θερμοκρασιακών αναστροφών. Μετρήσεις για τις

Θερμοκρασιακές αναστροφές γίνονται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία στον σταθμό του Ελληνικού δύο φορές την ημέρα τις ώρες 02:00 L.S.T. και 14:00 L.S.T. και η επεξεργασία τους για το χρονικό διάστημα 1969-1981 (Τσελεπιδάκι κ.ά., 1983) έδειξε ότι η ετήσια πορεία της συχνότητας εμφάνισης των νυκτερινών θερμοκρασιακών αναστροφών επιφανείας εμφανίζει διπλή κύμανση με ένα πρωτεύον μέγιστο στο διάστημα Απριλίου–Ιουνίου και ένα δευτερεύον τον Νοέμβριο. Τις μεσημεριανές ώρες εμφανίζονται λιγότερες επιφανειακές θερμοκρασιακές αναστροφές, σε σχέση με τις νυκτερινές και η ετήσια πορεία τους εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές της στην περίοδο Μαρτίου-Ιουνίου.

Ο ρόλος των θερμοκρασιακών αναστροφών στη δημιουργία υψηλών τιμών συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικών ρύπων είναι καθοριστικός διότι, οι μεν νυκτερινές θερμοκρασιακές αναστροφές είναι υπεύθυνες για τη συσσώρευση πρωτογενών ρύπων, οι δε μεσημεριανές είναι υπεύθυνες για τη συσσώρευση δευτερογενών ρύπων. Εξετάζοντας την ετήσια πορεία των θερμοκρασιακών αναστροφών επιφανείας σε σχέση με το πάχος τους και συγκεκριμένα τις περιπτώσεις που παρατηρούνται με πάχος 300 m αφού οι εκπομπές ρύπων γίνονται μέσα στο στρώμα αυτό, διαπιστώνεται ότι η ετήσια πορεία του αριθμού των θερμοκρασιακών αναστροφών με πάχος 0-100 m είναι περίπου ίδια με την ετήσια πορεία της συχνότητας εμφάνισης των θερμοκρασιακών αναστροφών, δηλαδή εμφανίζει μέγιστο στο διάστημα Απριλίου-Μαΐου (Τσελεπιδάκι κ.ά., 1983).

Πίνακας 8. Μέτρα που λήφθηκαν από την Ελληνική Πολιτεία για τη βελτίωσή της ποιότητας των καυσίμων (ΠΕΡΠΑ, 1989).

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΛΗΦΘΕΝΤΑ ΜΕΤΡΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ
9/1976	Απαγόρευση χρήσης μαζούτ (S:3.5%) γύρω από την Ακρόπολη και αντικατάστασή του με Diesel (S:1.0%)
11/1977	Το ίδιο για ολόκληρο το Λεκανοπέδιο της Αττικής για θέρμανση
5/1981	Διακοπή λειτουργίας της μονάδας της ΔΕΗ στο Κερατσίνι
5/1981	Απαγόρευση χρήσης μαζούτ (S:3.5%) σε βιομηχανίες και βιοτεχνίες της Αθήνας και αντικατάστασή του με μαζούτ μειωμένης περιεκτικότητας σε θείο (S:1.0%)
7/1981	Επέκταση του παραπάνω μέτρου και για το Θριάσιο Πεδίο
12/1981	Σε ολόκληρη την Αττική μείωση της περιεκτικότητας του Diesel σε θείο (από 1.0% σε 0.5%)
10/1982	Σε ολόκληρη την Αττική μείωση της περιεκτικότητας του μαζούτ σε θείο (0.7%)
12/1982	Σε ολόκληρη την Αττική μείωση της περιεκτικότητας του Diesel σε θείο (0.3%)

Στην πράξη, η αντιμετώπιση των επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης γίνεται με πρόβλεψη-εξακρίβωση των στοιχείων της θερμοκρασιακής ανατροφής, με παρακολούθηση των συγκεντρώσεων των συγκεντρώσεων των διαφόρων ρύπων μέσω του δικτύου και κεντρικής τηλεπικοινωνιακής μονάδας για την επεξεργασία των πληροφοριών και τη λήψη αποφάσεων για περιορισμό ή και διακοπή της λειτουργίας διαφόρων πηγών. Συγχρόνως, με οδηγίες της διοίκησης, λαμβάνονται μέτρα προφύλαξης του πληθυσμού, αυξάνει η ετοιμότητα των ομάδων πρώτων βοηθειών και περίθαλψης και τέλος ενεργοποιούνται τα μέσα μαζικής ενημέρωσης για την αντιμετώπιση της κατάστασης.

Το έτος 1982 η Ελληνική Κυβέρνηση αποφάσισε ότι, οποτεδήποτε συγκεκριμένοι ρύποι έφθαναν σε επίπεδα που θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία, θα λαμβάνονταν έκτακτα μέτρα. Τα έκτακτα αυτά μέτρα συνίστανται τόσο στον περιορισμό της κυκλοφορίας των αυτοκινήτων, όσο και στον περιορισμό της λειτουργίας όλων των πηγών ρύπανσης, με σκοπό τον περιορισμό των αιχμών ρύπανσης.

Ο ρόλος των βραχυπρόθεσμων αυτών περιορισμών είναι η πρόληψη επιδείνωσης της ποιότητας της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια των ημερών που επικρατούν

δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες, χωρίς όμως να λύνεται το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Με βάση τις προτάσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.), η Ελληνική Πολιτεία έχει καθορίσει όρια για τις τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων, και σε περιπτώσεις υπερβάσεων των ορίων αυτών, προβαίνει στη λήψη περιοριστικών μέτρων, με σκοπό την προάσπιση της δημόσιας υγείας.

Πίνακας 9α. Όρια εκτάκτων μέτρων μέχρι 31.12.1996, όπου (1): σε 24-ωρη βάση, (2): σε ωριαία βάση και (3): σε 8-ωρη βάση (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1997).

ΡΥΠΟΣ	ΚΑΠΝΟΣ (1) μgr/m ³	SO ₂ (1) μgr/m ³	NO ₂ (2) μgr/m ³	CO(3) mgr/m ³	O ₃ (2) μgr/m ³
Στάδιο Προειδοποίησης	250	250	400	20	250
Στάδιο λήψης μέτρων Α' βαθμίδας	300	300	500	25	300
Στάδιο λήψης μέτρων Β' βαθμίδας	400	400	700	35	500

Τα όρια αυτά, για την περιοχή της Αθήνας, εμφανίζονται στους Πίνακες 9α-9β. Τα διάφορα στάδια κηρύσσονται όταν οι μετρούμενες τιμές υπερβούν (ή προσεγγίσουν) τις τιμές που εμφανίζονται στους προαναφερθέντες πίνακες, ταυτόχρονα δε υπάρχει πρόβλεψη για μετεωρολογικές συνθήκες που ευνοούν τη διατήρηση (ή αύξηση) των συγκεντρώσεων των διαφόρων ρύπων για τις επόμενες ώρες ή την επόμενη ημέρα.

Πίνακας 9β. Όρια εκτάκτων μέτρων από 1.1.1997, όπου (1): σε 24-ωρη βάση, (2): σε ωριαία βάση και (3): σε 8-ωρη βάση. Ο πίνακας αυτός προέρχεται από την εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας με αυτή της Ε.Ε., όσον αφορά το όριο προειδοποίησης του όζοντος που μειώθηκε από 200 μgr/m³ σε 180 μgr/m³ (ΥΠΕΧΩΔΕ, 1998).

ΡΥΠΟΣ	ΚΑΠΝΟΣ (1) μgr/m ³	SO ₂ (1) μgr/m ³	NO ₂ (2) μgr/m ³	CO(3) mgr/m ³	O ₃ (2) μgr/m ³
Στάδιο Προειδοποίησης	250	250	400	20	180
Στάδιο λήψης μέτρων Α' βαθμίδας	300	300	500	25	360
Στάδιο λήψης μέτρων Β' βαθμίδας	400	400	700	35	500

Αν σε οποιοδήποτε σταθμό της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας οι τιμές συγκέντρωσης οποιουδήποτε ρύπου υπερβούν κατά 50% της διαφοράς μεταξύ του σταδίου λήψης εκτάκτων μέτρων Α' βαθμίδας και του σταδίου προειδοποίησης, του συγκεκριμένου ρύπου, τότε έχουμε επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης για αυτόν το ρύπο.

13. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Όπως προαναφέρθηκε, για να εκτιμηθεί η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα μιας περιοχής είναι δυνατή η χρησιμοποίηση περιβαλλοντικών δεικτών. Ένας τέτοιος δείκτης 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., 1976a, 1976b; Thom et al., 1976), με αντικειμενικό σκοπό την τυποποίηση των εκθέσεων που αναφέρονταν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Επίσης απέβλεπαν στη διευκόλυνση των συγκρίσεων που σχετίζονταν με την ποιότητα της ατμόσφαιρας διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών. Ο δείκτης PSI είναι σύνθετος δείκτης που υπολογίζεται από τις συγκεντρώσεις του όζοντος, του διοξειδίου του αζώτου, του διοξειδίου του θείου, του μονοξειδίου του άνθρακα και των συνολικών αιωρούμενων σωματιδίων. Ο δείκτης PSI μετατρέπει τις συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων σε απλές αριθμητικές τιμές που κυμαίνονται από 0 μέχρι 500 και αυτές με τη σειρά τους αντιστοιχίζονται σε κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας. Οπότε ο δείκτης PSI καθορίζει την ποιότητα της ατμόσφαιρας σύμφωνα με το σχετικό πίνακα αποτίμησης (Πίνακας 10).

Πίνακας 10. 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 PSI, με βάση τη σχέση

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

όπου I_1 είναι ο επιμέρους δείκτης οι τιμές του οποίου καθορίζονται από τις συγκεντρώσεις των συνολικών 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 συνολικών αιωρουμένων σωματιδίων και διοξειδίου του θείου. Οι τιμές κάθε επιμέρους δείκτη κυμαίνονται μεταξύ 0 και 500, όπου η τιμή 500 αντιστοιχεί σε γεγονός 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 11.

Πίνακας 11. Τιμές των επιμέρους δεικτών του δείκτη PSI (Boubel et al., 1994).

I	TSP 24 hr $\mu\text{gr}/\text{m}^3$	SO ₂ 24 hr $\mu\text{gr}/\text{m}^3$	TSP* SO ₂ $(\mu\text{gr}/\text{m}^3)^2$	CO 8 hr mgr/m^3	O ₃ 1 hr $\mu\text{gr}/\text{m}^3$	NO ₂ 1 hr $\mu\text{gr}/\text{m}^3$
0	8	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 10) συνδέεται με επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων της υπό μελέτη περιοχής. Στον Πίνακα 12 προσδιορίζονται, σε σχέση με την τιμή του δείκτη PSI, οι επιπτώσεις στην υγεία καθώς και κάποιες προληπτικές συμβουλές.

Πίνακας 12. Κλίμακα συσχέτισης της ποιότητας του αέρα με πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής, καθώς και οι αντίστοιχες συμβουλές (Boubel et al., 1994).

PSI	Κατηγορία ποιότητας αέρα	Γενικές επιπτώσεις στην υγεία	Προληπτικές συμβουλές
0 - 50	Καλή	Καμία για το συνολικό πληθυσμό	Καμία
51 - 100	Μέτρια	Μερικές ή και καμία για το συνολικό πληθυσμό	Καμία
101 - 200	Ανθυγιεινή	Ελαφρά επιδείνωση των συμπτωμάτων στις πιο ευάλωτες κατηγορίες του πληθυσμού, με συμπτώματα ερεθισμού της υγείας του πληθυσμού	Άνθρωποι που πάσχουν από καρδιακές ή αναπνευστικές παθήσεις θα πρέπει να περιορίζουν τις φυσικές ασκήσεις και τις εξωτερικές τους δραστηριότητες. Ο υπόλοιπος πληθυσμός θα πρέπει να περιορίσει τις έντονες εξωτερικές δραστηριότητες
201 - 300	Πολύ Ανθυγιεινή	Σημαντική επιδείνωση των συμπτωμάτων και μειωμένη αντοχή σε άτομα με καρδιακά ή αναπνευστικά προβλήματα. Εκτεταμένα συμπτώματα στην υγεία του πληθυσμού	Οι ηλικιωμένοι καθώς και άτομα που πάσχουν από καρδιακές ή αναπνευστικές παθήσεις θα πρέπει να παραμείνουν στα σπίτιά τους και να περιορίσουν τις δραστηριότητές τους. Ο υπόλοιπος πληθυσμός θα πρέπει να αποφεύγει τις έντονες εξωτερικές δραστηριότητες
> 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	Οι ηλικιωμένοι καθώς και άτομα με παθήσεις θα πρέπει να παραμείνουν στα σπίτιά τους και να περιορίσουν τις δραστηριότητές τους. Σε περιπτώσεις που $PSI > 400$, τότε ο υπόλοιπος πληθυσμός της περιοχής θα πρέπει να αποφεύγει τις εξωτερικές δραστηριότητες. Θα πρέπει να παραμένουν εντός των οικιών τους με κλειστά παράθυρα και πόρτες, και ελαχιστοποιώντας τις δραστηριότητές τους

Ο υπολογισμός της τιμής του δείκτη PSI αρχίζει με τον υπολογισμό των τιμών των επιμέρους δεικτών κάθε ρύπου (Πίνακας 13). Από τον ίδιο πίνακα διαπιστώνεται ότι κάθε επιμέρους δείκτης είναι συνεχής και κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση της

συγκέντρωσης του ρύπου. Με βάση την κατά τμήματα παρατηρούμενη γραμμικότητα, με τη βοήθεια του πολυωνύμου παρεμβολής του Lagrange (Αλεξανδρούπολος, κ.ά., 1995), για τον κατά τμήματα υπολογισμό των τιμών του κάθε επιμέρους δείκτη, θα ισχύει:

Πίνακας 13. Σχέσεις υπολογισμού, κατά τμήματα, των τιμών του κάθε επιμέρους δείκτη του δείκτη PSI (Boubel et al., 1994).

[TSP] μgr/m ³	I ₁	[SO ₂] μgr/m ³	I ₂
[0, 75)	$\frac{2*[TSP]}{3}$	[0, 80)	$\frac{5*[SO_2]}{8}$
[75, 260)	$\frac{50*[TSP]}{185} + \frac{5500}{185}$	[80, 365)	$\frac{50*[SO_2]}{285} + \frac{1025}{285}$
[260, 375)	$\frac{100*[TSP]}{115} - \frac{14500}{115}$		
[375, 625)	$\frac{2*[TSP]}{5} + 50$		
[625, 875)	$\frac{2*[TSP]}{5} + 50$		

[CO] mgr/m ³	I ₄	[O ₃] μgr/m ³	I ₅
[0, 5)	2*[CO]	[0, 120)	$\frac{5*[O_3]}{12}$
[5, 10)	0*[CO]	[120,235)	$\frac{120*[O_3]}{115} - \frac{250}{115}$
[10, 17)	$\frac{100*[CO]}{7} - \frac{300}{7}$	[235,400)	$\frac{100*[O_3]}{165} - \frac{7000}{165}$
[17, 34)	$\frac{100*[CO]}{17} + 100$		
[34, 46)	$\frac{100*[CO]}{12} + \frac{200}{12}$		
[46, 57.5)	$\frac{100*[CO]}{11.5}$		

14. Η ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την πραγματοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας ελήφθησαν από το δίκτυο των σταθμών της ΕΑΡΘ/ΥΠΕΧΩΔΕ που βρίσκονται εγκατεστημένοι στην ΕΠΑ

(Σχήμα 2), οι χρονοσειρές των ωριαίων συγκεντρώσεων του όζοντος, του διοξειδίου του θείου, του διοξειδίου του αζώτου καθώς και του μονοξειδίου του άνθρακα.

Από την επεξεργασία των χρονοσειρών της περιόδου 1990-1997, με τις ανά ημέρα μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις όζοντος, διοξειδίου του θείου, διοξειδίου του αζώτου καθώς και τις μέγιστες οκτάωρες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα, των σταθμών της ΕΠΑ, διαπιστώθηκε ότι αφενός μεν οι μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου κυμαίνονται σε επίπεδα πολύ χαμηλότερα των 1130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, αφετέρου δε οι μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου ελάχιστα συμμετέχουν στον καθορισμό των τιμών του PSI και αυτό περιορίζεται μόνο στους σταθμούς του κέντρου της Αθήνας («Πατησίων» και «Αθηνάς»). Η συμμετοχή δε αυτή με την πάροδο του χρόνου φθίνει και το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στη διαρκή τάση μείωσης που εμφανίζουν οι συγκεντρώσεις του συγκεκριμένου ρύπου σε όλους τους σταθμούς της ΕΠΑ (Paliatsos, 1997).

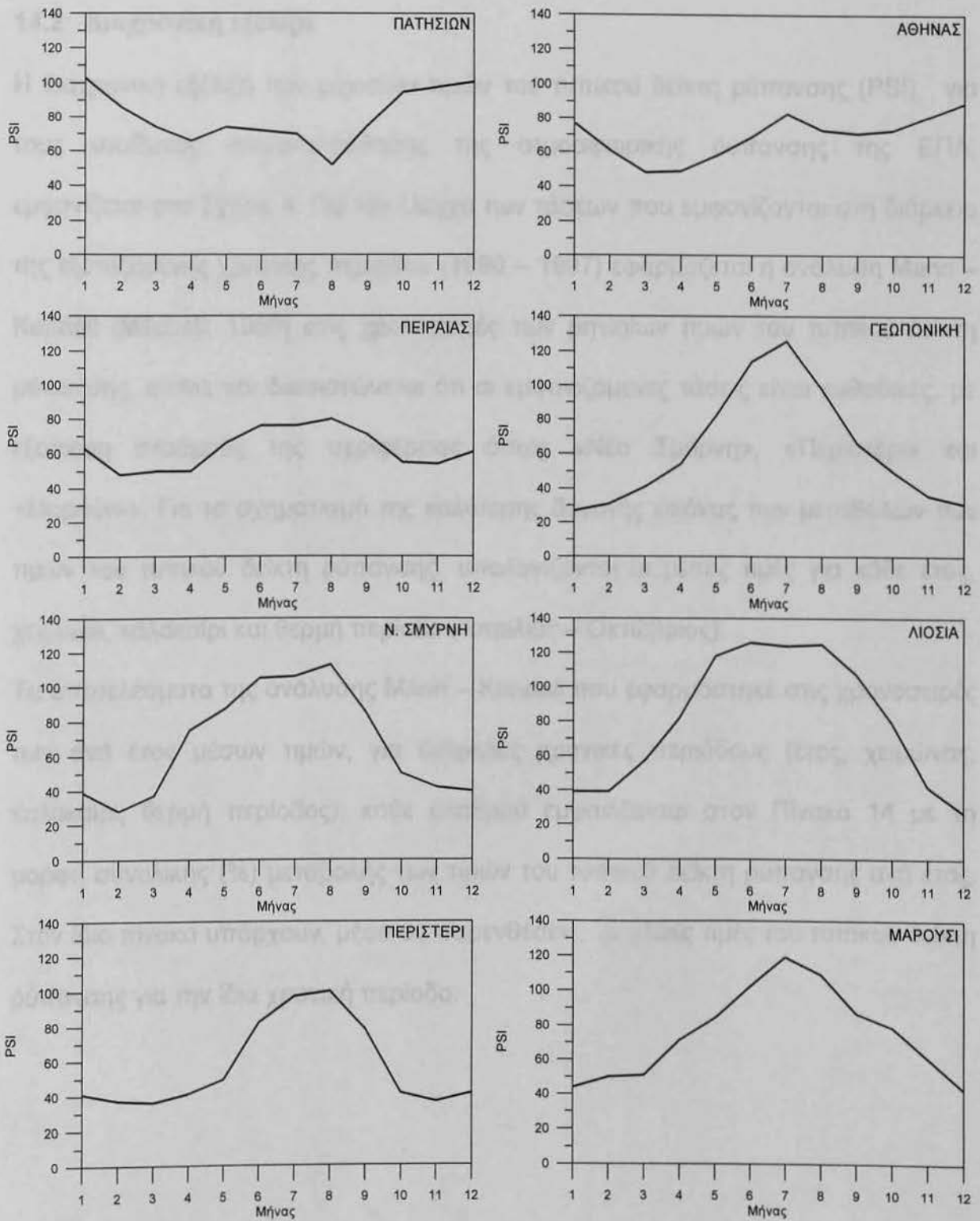
14.1 Ετήσια πορεία

Η ετήσια πορεία του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) για τους διάφορους σταθμούς παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ, εμφανίζεται στο Σχήμα 3. Από το σχήμα αυτό εύκολα κανείς διαπιστώνει ότι η ετήσια πορεία χαρακτηρίζεται, για σταθμό του κέντρου της πόλης («Πατησίων») με μεγάλη κυκλοφορία αυτοκινήτων, από ένα μέγιστο που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους και ένα ελάχιστο που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της θερμής. Η μορφή αυτή μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι στη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, ο καθορισμός των τιμών του PSI εξαρτάται, σε ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 66.3% και 87.4%, από τις μέγιστες οκτάωρες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα, η ετήσια πορεία του οποίου συμπίπτει με αυτή του PSI για

το συγκεκριμένο σταθμό (Viras et al., 1996). Για τους δύο υπόλοιπους αστικούς σταθμούς («Αθηνάς» και «Πειραιάς»), ο πρώτος εμφανίζει ετήσια πορεία του τυπικού δείκτη ρύπανσης που χαρακτηρίζεται από ένα πρωτεύον μέγιστο που εμφανίζεται το χειμώνα και ένα δευτερεύον μέγιστο που εμφανίζεται το καλοκαίρι, μορφή που μπορεί να αποδοθεί στο ποσοστό της συνεισφοράς των μέγιστων οκτάωρων συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα, στον καθορισμό των τιμών του PSI, που κυμαίνεται μεταξύ 33.5% και 87.1%. Η ετήσια πορεία του τυπικού δείκτη ρύπανσης στο δεύτερο σταθμό χαρακτηρίζεται από ένα πρωτεύον μέγιστο που εμφανίζεται το καλοκαίρι και ένα δευτερεύον μέγιστο που εμφανίζεται το χειμώνα. Και στην περίπτωση αυτή, η μορφή της ετήσιας πορείας μπορεί να αποδοθεί στο χαμηλό ποσοστό συνεισφοράς των μέγιστων οκτάωρων συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα, που κυμάνθηκε μεταξύ 18.6% και 47%, στον καθορισμό των τιμών του PSI.

Αντίθετα στους υπόλοιπους σταθμούς της ΕΠΑ, η ετήσια πορεία του τυπικού δείκτη ρύπανσης χαρακτηρίζεται από ένα μέγιστο που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους και ένα ελάχιστο που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της ψυχρής. Η μορφή αυτή μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι στον καθορισμό της τιμής του PSI βαρύνοντα ρόλο είχαν οι μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις όζοντος, η ετήσια πορεία του οποίου συμπίπτει με αυτή του PSI (Kalabokas et al., 1999).

Σχήμα 4. Ετήσια πορεία του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) για τους αστικούς σταθμούς «Αθηνάς», «Πειραιάς» και «Καλλιθέα» στην ΕΠΑ για τη χρονιά 1992-1997



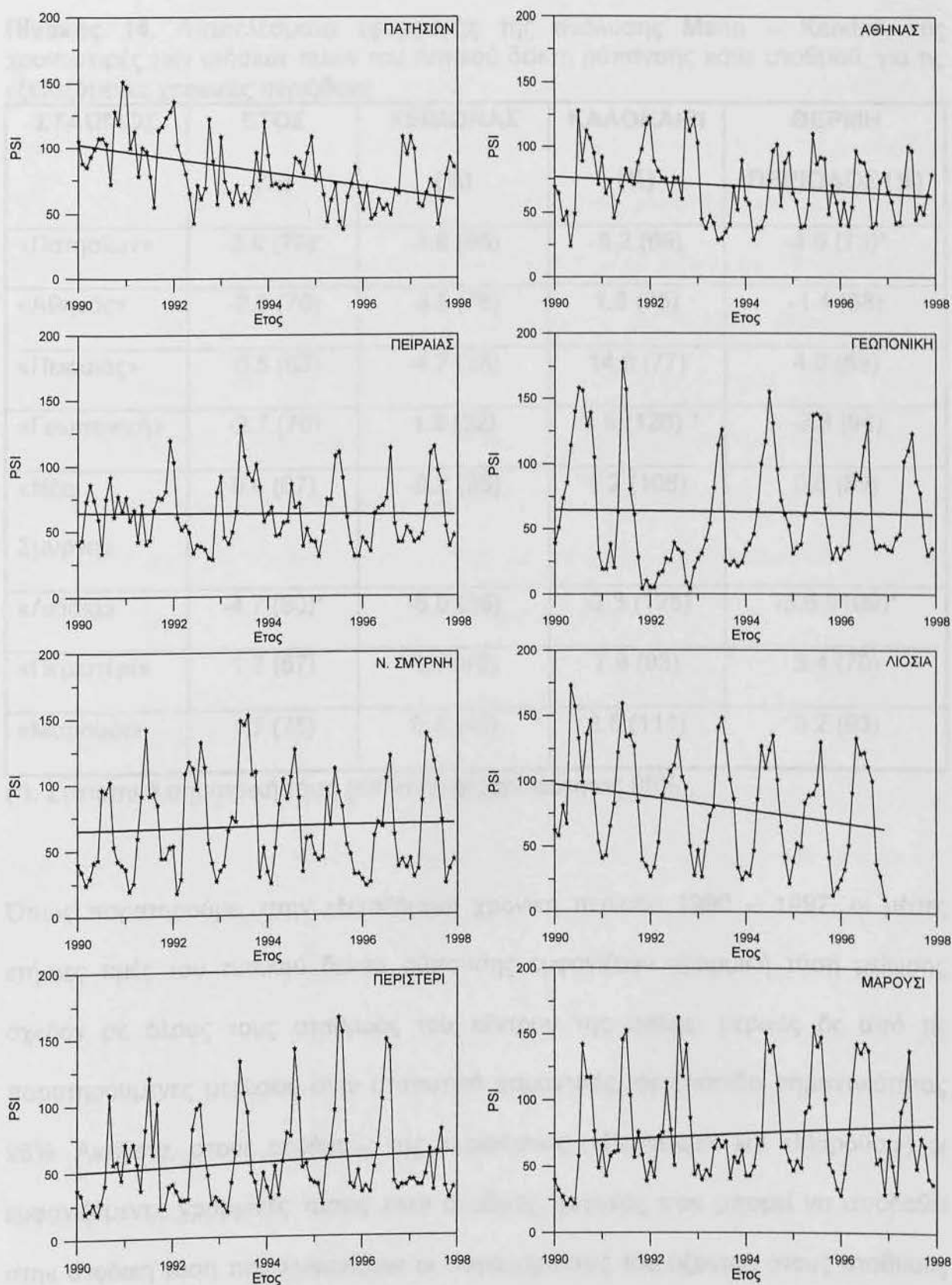
Σχήμα 3. Ετήσια πορεία του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) για τους σταθμούς παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ, για τη χρονική περίοδο 1990-1997.

14.2 Διαχρονική εξέλιξη

Η διαχρονική εξέλιξη των μηνιαίων τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI), για τους σταθμούς παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της ΕΠΑ, εμφανίζεται στο Σχήμα 4. Για τον έλεγχο των τάσεων που εμφανίζονται στη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου (1990 – 1997) εφαρμόζεται η ανάλυση Mann – Kendall (Mitchell, 1966) στις χρονοσειρές των μηνιαίων τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης, οπότε και διαπιστώνεται ότι οι εμφανιζόμενες τάσεις είναι καθοδικές, με εξαίρεση σταθμούς της περιφέρειας όπως «Νέα Σμύρνη», «Περιστέρι» και «Μαρούσι». Για το σχηματισμό της καλύτερης δυνατής εικόνας των μεταβολών των τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης, υπολογίζονται οι μέσες τιμές για κάθε έτος, χειμώνα, καλοκαίρι και θερμή περίοδο (Απρίλιος – Οκτώβριος).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης Mann – Kendall που εφαρμόστηκε στις χρονοσειρές των ανά έτος μέσων τιμών, για διάφορες χρονικές περιόδους (έτος, χειμώνας, καλοκαίρι, θερμή περίοδος), κάθε σταθμού εμφανίζονται στον Πίνακα 14 με τη μορφή συνολικής (%) μεταβολής των τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης ανά έτος. Στον ίδιο πίνακα υπάρχουν, μέσα σε παρενθέσεις, οι μέσες τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης για την ίδια χρονική περίοδο.

Σχήμα 4. Διαχρονική εξέλιξη των μηνιαίων τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) για τους σταθμούς παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ, για τη χρονική περίοδο 1990-1997.



Σχήμα 4. Διαχρονική εξέλιξη των μηνιαίων τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) για τους σταθμούς παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ, για τη χρονική περίοδο 1990-1997.

Πίνακας 14. Αποτελέσματα εφαρμογής της ανάλυσης Mann – Kendall στις χρονοσειρές των ετήσιων τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης κάθε σταθμού, για τις εξεταζόμενες χρονικές περιόδους.

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΕΤΟΣ (%)	ΧΕΙΜΩΝΑΣ (%)	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (%)	ΘΕΡΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ (%)
«Πατησίων»	-3.9 (79)*	-3.8 (98)	-5.2 (68)	-4.6 (73)*
«Αθηνάς»	-2.6 (70)	-3.5 (76)	1.6 (75)	-1.4 (68)
«Πειραιάς»	-0.5 (63)	-4.7 (58)	14.8 (77)	4.0 (69)
«Γεωπονική»	-2.7 (70)	1.9 (32)	-2.6 (126) *	-2.8 (94)
«Νέα Σμύρνη»	0.4 (67)	-0.2 (36)	1.2 (108)	0.6 (89)
«Λιόσια»	-4.7 (80)*	-6.0 (36)	-2.3 (125)	-3.6 (109)*
«Περιστερί»	1.7 (57)	1.1 (40)	7.6 (93)	3.4 (70)
«Μαρούσι»	1.7 (75)	0.4 (46)	3.5 (111)	3.2 (93)

(*): Στατιστικά σημαντική τάση (επίπεδο σημαντικότητας 95%).

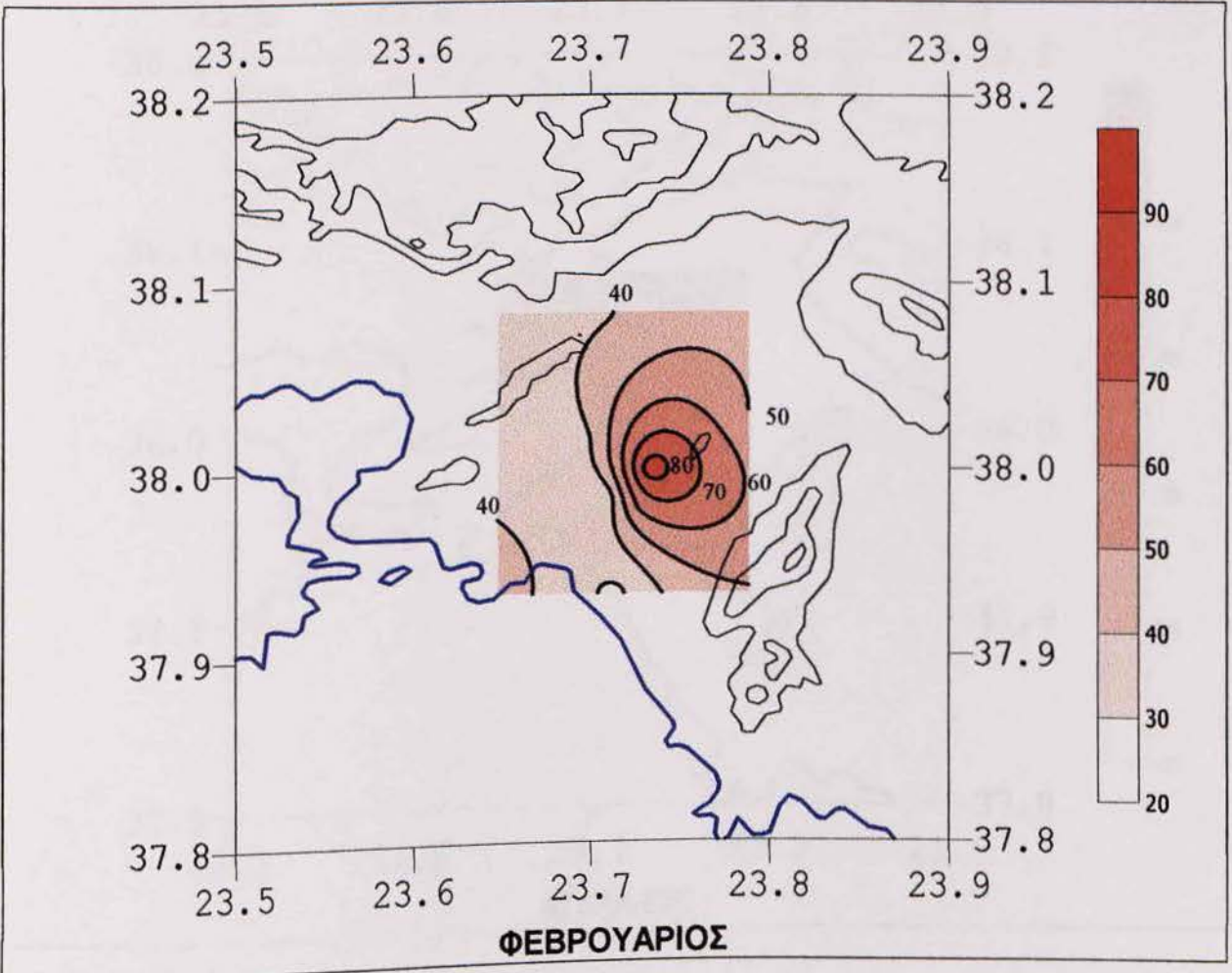
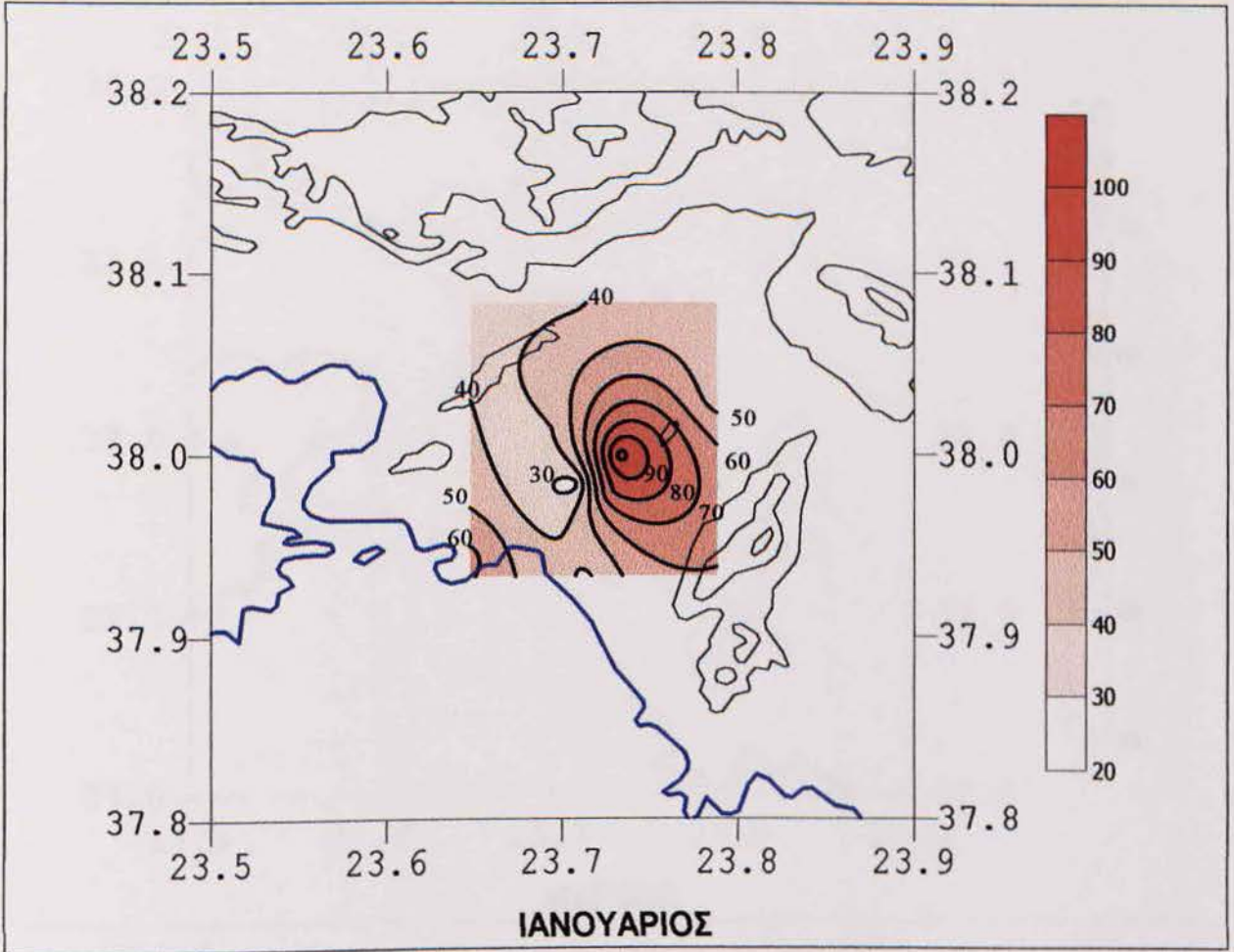
Όπως παρατηρούμε, στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο 1990 – 1997, οι μέσες ετήσιες τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης εμφανίζουν γραμμική τάση μείωσης σχεδόν σε όλους τους σταθμούς του κέντρου της πόλης, μερικές δε από τις παρατηρούμενες μειώσεις είναι στατιστικά σημαντικές, σε επίπεδο σημαντικότητας 95%. Αντίθετα, στους σταθμούς της περιφέρειας («Περιστερί» και «Μαρούσι») οι εμφανιζόμενες γραμμικές τάσεις είναι ανοδικές, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην ανοδική τάση που εμφανίζουν οι συγκεντρώσεις του όζοντος στους σταθμούς αυτούς.

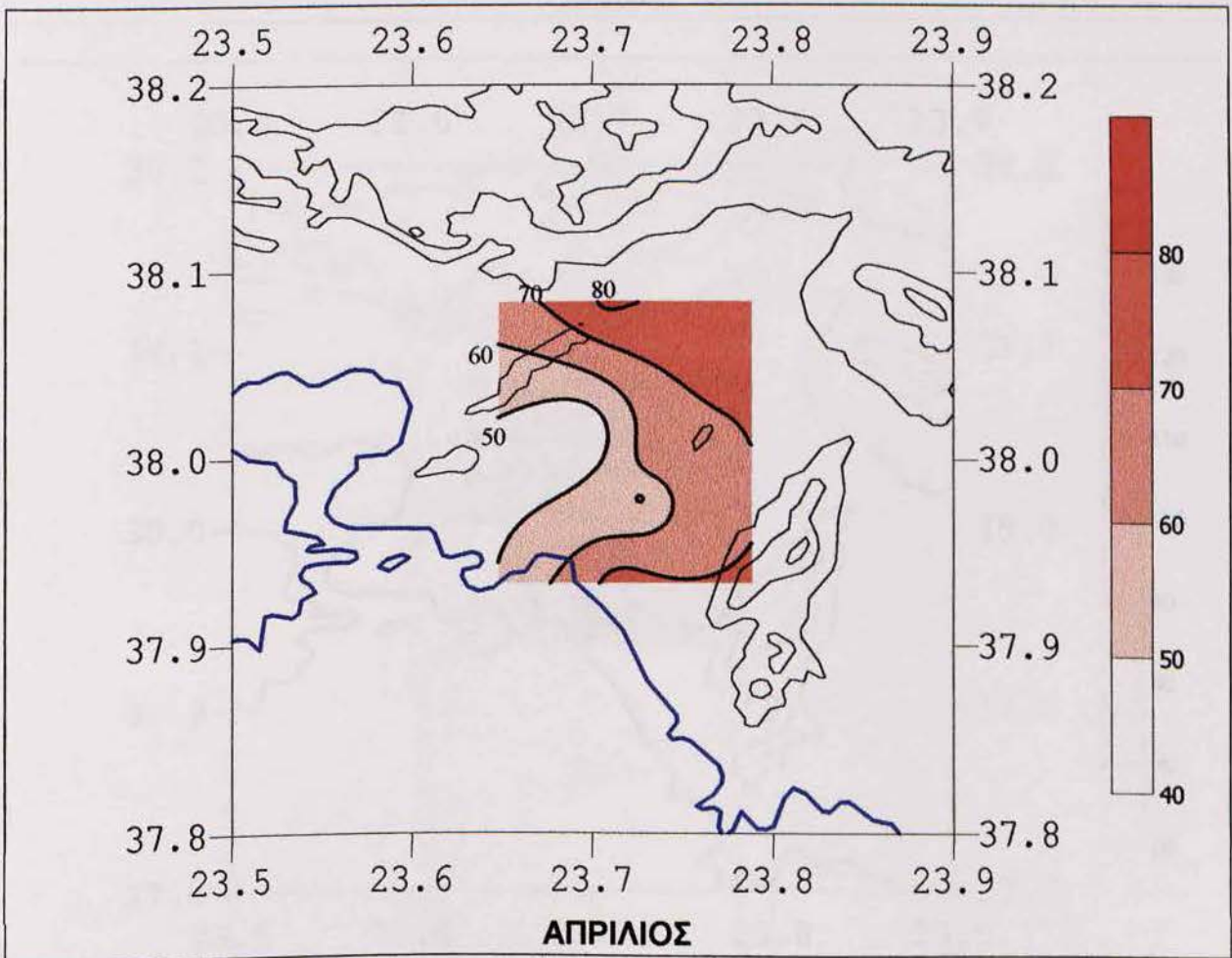
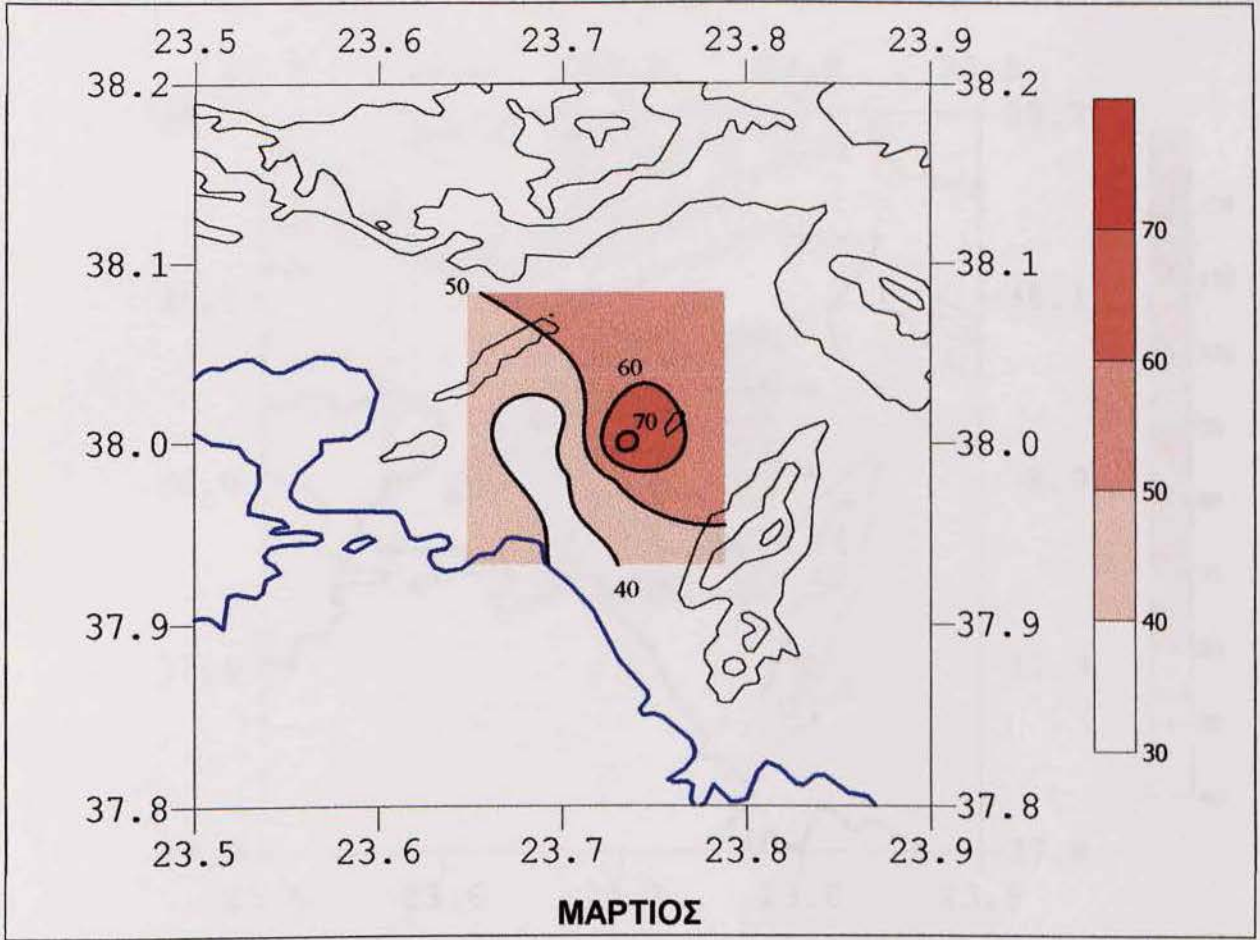
Αυτό οφείλεται στη μεγάλη πολυπλοκότητα τόσο της Χημείας όσο και της Μετεωρολογίας που συντελούν στο σχηματισμό του όζοντος στις αστικές νησίδες

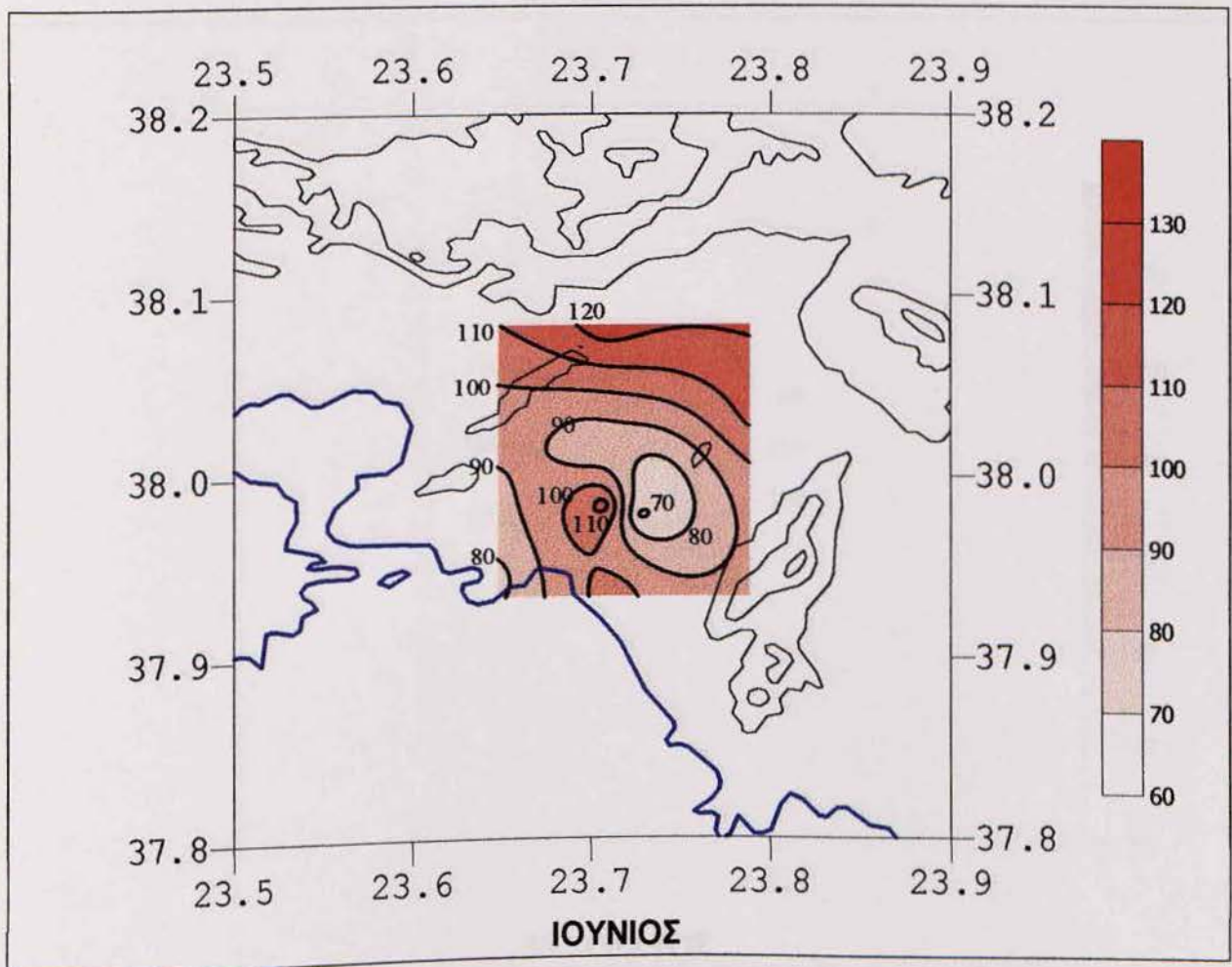
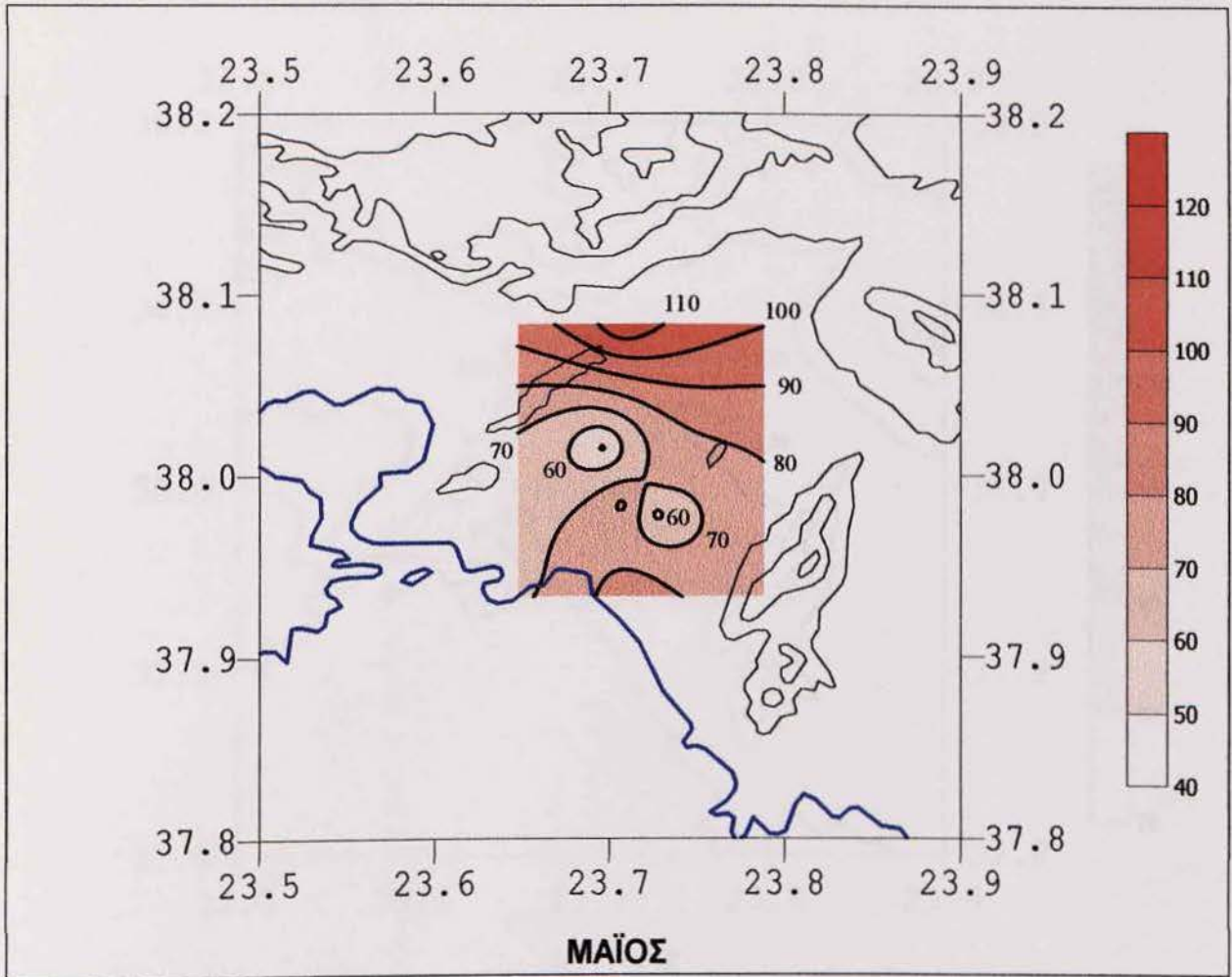
(Βίγλας κ.ά., 1998). Η κρίσιμη αναλογία NO_x/VOC παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των επιπέδων της συγκέντρωσης του όζοντος. Για παράδειγμα η ελάττωση του NO_x οδηγεί σε αύξηση του όζοντος, για υψηλές τιμές της αναλογίας NO_x/VOC . Επίσης παρόλο που οι πηγές των NO_x είναι περισσότερες σε μια αστική περιοχή, τα NO_x εύκολα μεταφέρονται με τον πνέοντα άνεμο, σε αντίθεση με τα VOC's που δεν ελαττώνονται τόσο απότομα εξαιτίας της μεγάλης διασποράς των πηγών εκπομπής και της μικρής εναπόθεσής τους στο έδαφος (Kley, 1997). Εξαίρεση αποτελεί ο περιφερειακός σταθμός «Λιόσια» όπου όλες οι εμφανιζόμενες τάσεις, στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο 1990 – 1996 στο συγκεκριμένο σταθμό, είναι καθοδικές. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην καθοδική τάση της συγκέντρωσης του όζοντος στο συγκεκριμένο σταθμό.

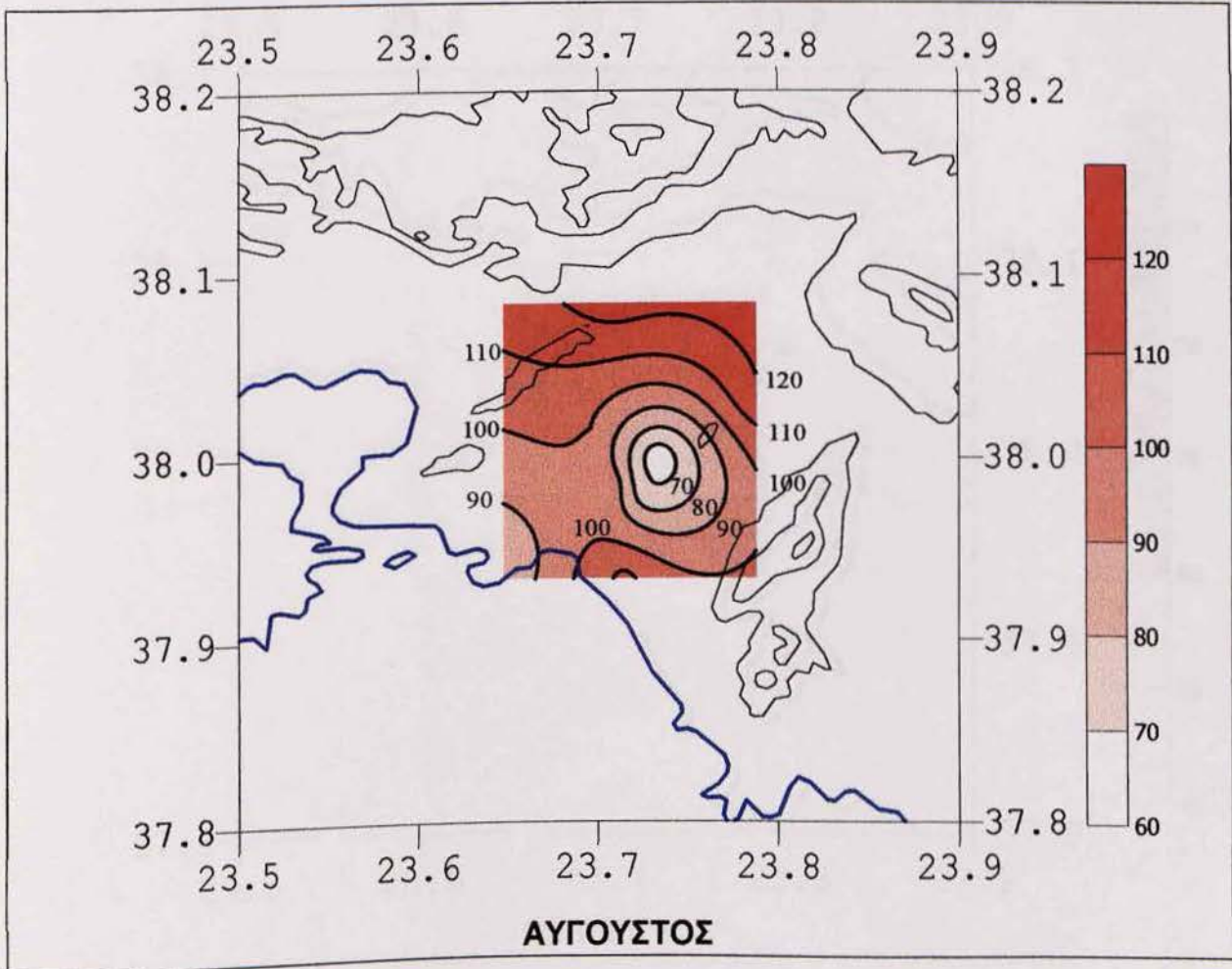
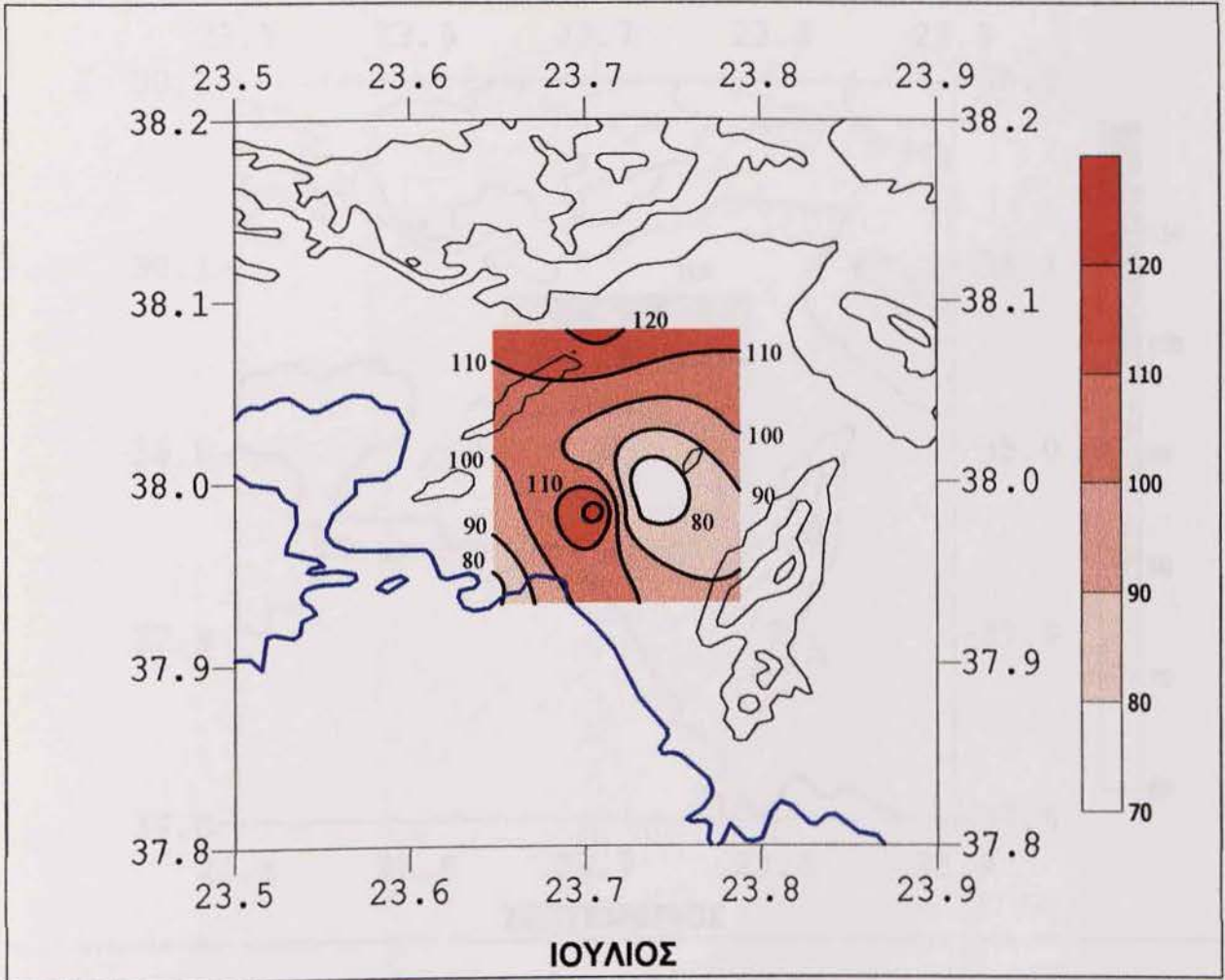
14.3 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

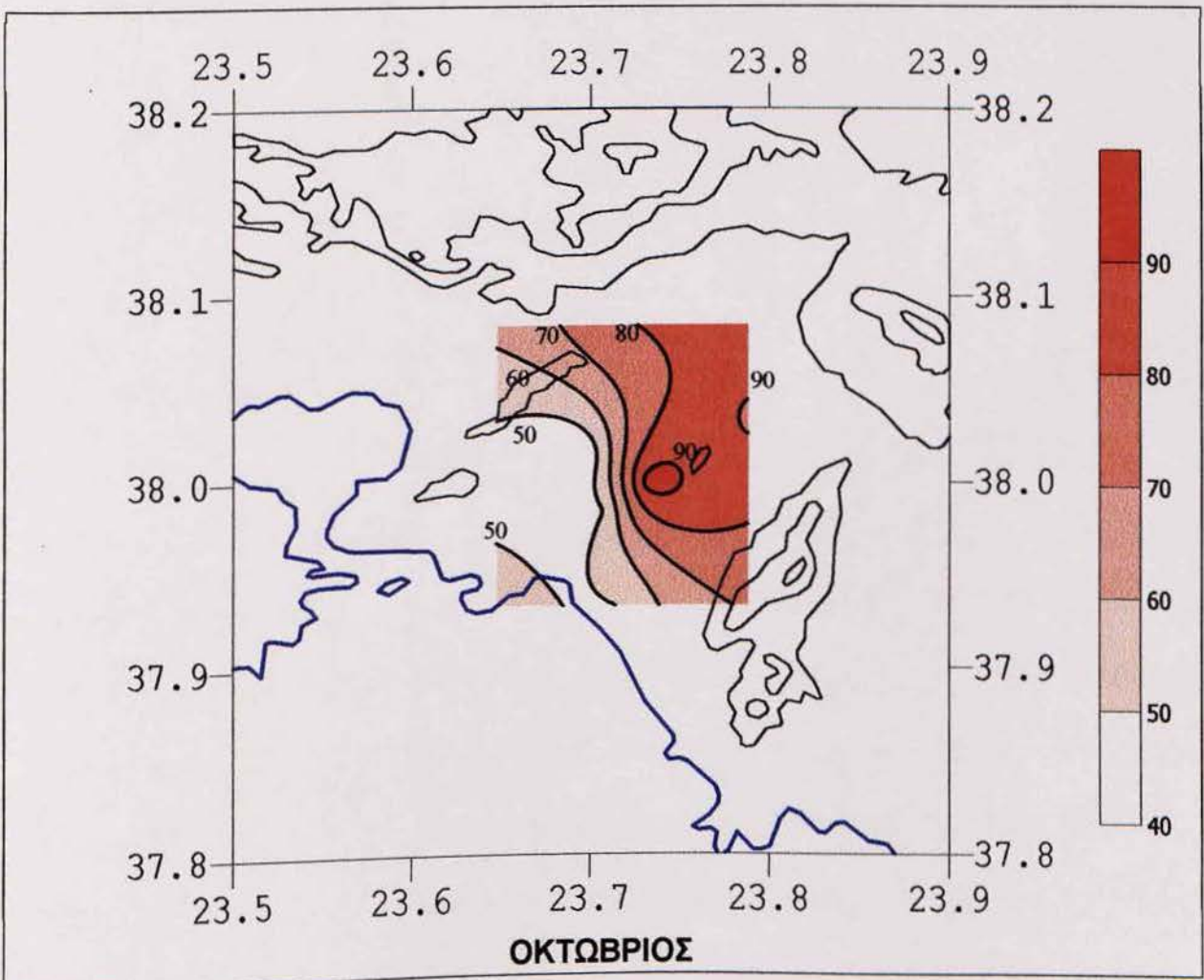
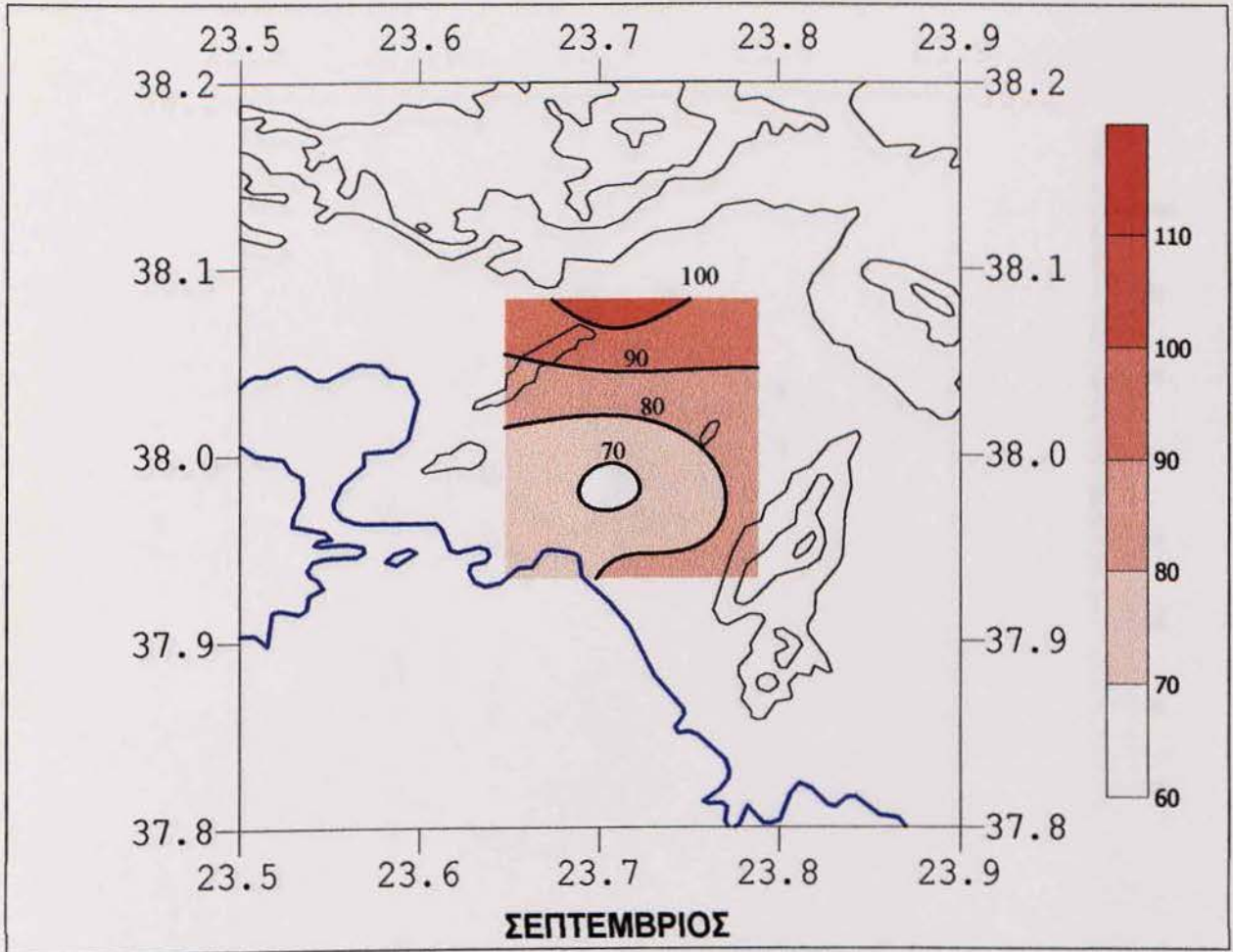
Μελετώντας τη χωρική κατανομή των τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης για τους μήνες του έτους (Σχήμα 5), διαπιστώνεται ότι η ποιότητα του αέρα στο κέντρο της πόλης της Αθήνας είναι περίπου σταθερή και βρίσκεται στο επίπεδο της «μέτριας» (Πίνακας 12) σε όλη τη διάρκεια του έτους. Σε αντίθεση με το κέντρο της πόλης, η ποιότητα του αέρα στην υπόλοιπη περιοχή της ΕΠΑ μεταβάλλεται. Ειδικότερα, ενώ τον Ιανουάριο παρατηρείται βελτίωση της ποιότητας του αέρα, που φθάνει ακόμη και στο επίπεδο της «καλής» (Πίνακας 12), στη διάρκεια των υπόλοιπων μηνών παρατηρείται υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, ειδικότερα δε κατά τους μήνες Μάιο μέχρι και Σεπτέμβριο φθάνει στο επίπεδο της «ανθυγιεινής» (Πίνακας 12) με έμφαση της επιδείνωσης τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο. Στην περίπτωση αυτή οι πιο αυξημένες τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης παρατηρούνται στο σταθμό «Λιόσια» (Σχήμα 5).

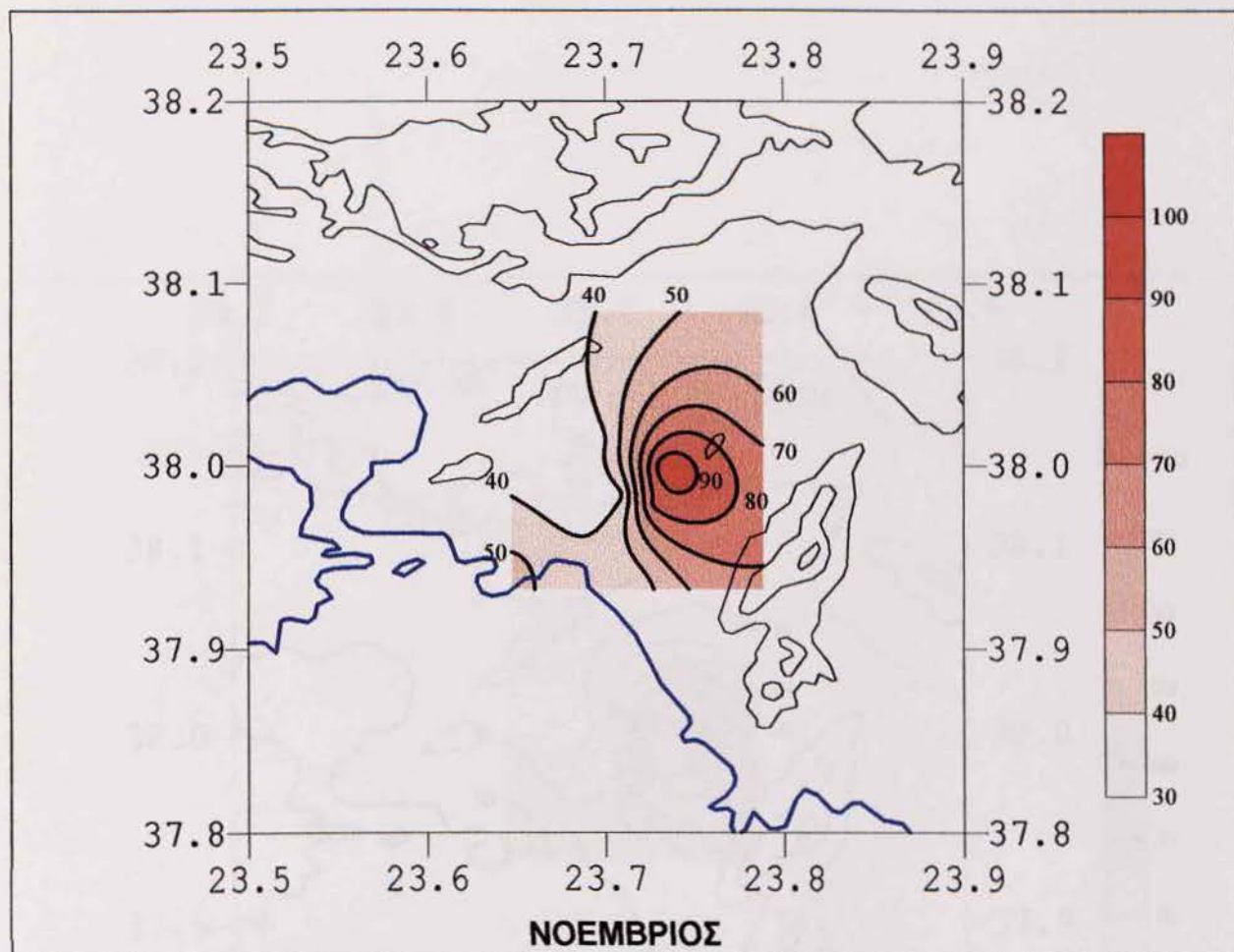


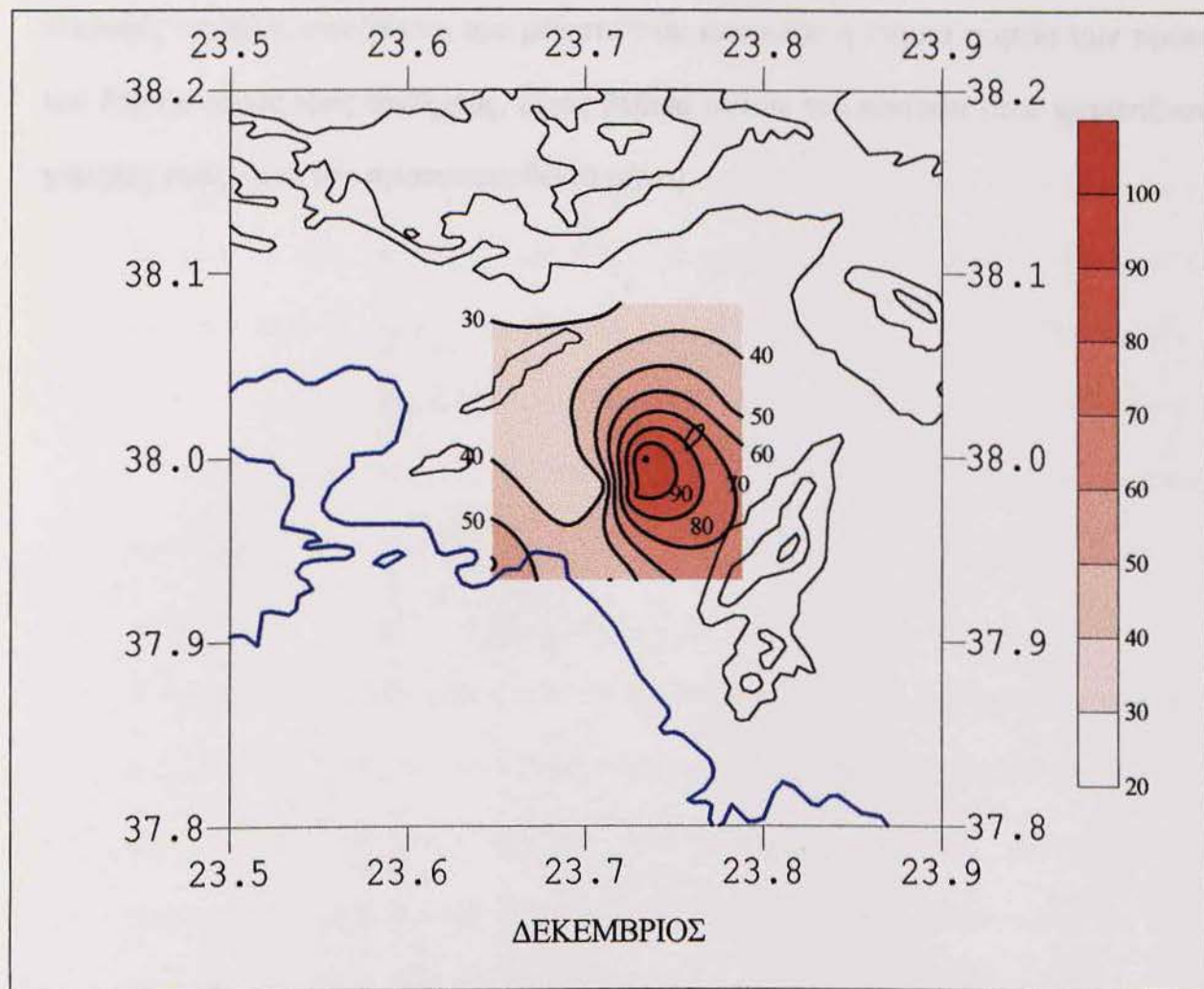












Σχήμα 5. Χωρική κατανομή των ανά μήνα μέσων τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης στην ΕΠΑ, για τη χρονική περίοδο 1990-1997.

Η μορφή της παραπάνω χωρικής κατανομής μπορεί να εξηγηθεί σε συνδυασμό με την ετήσια πορεία του τυπικού δείκτη ρύπανσης κάθε σταθμού παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ (Σχήμα 3). Για παράδειγμα, το μέγιστο της χωρικής κατανομής του Ιανουαρίου, στο κέντρο της πόλης της Αθήνας, μπορεί να αποδοθεί στο μέγιστο της ετήσιας πορείας του PSI στους σταθμούς "Πατησίων" και "Αθηνάς", ενώ οι χαμηλές τιμές της χωρικής κατανομής στις παραυφές της ΕΠΑ κατά

την ίδια χρονική περίοδο αποδίδονται στο ελάχιστο της ετήσιας πορείας των τιμών του PSI των αντίστοιχων σταθμών ("Περιστερί", "Λιόσια", "Μαρούσι").

Όμοια, το μέγιστο της χωρικής κατανομής που κατά τον Ιούνιο εμφανίζεται στις παρυφές της ΕΠΑ, αποδίδεται στο μέγιστο που εμφανίζει η ετήσια πορεία των τιμών του PSI σε όλους τους σταθμούς, εκτός βέβαια αυτών του κέντρου (που εμφανίζουν χαμηλές τιμές κατά τον προαναφερθέντα μήνα).

15. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την επεξεργασία των χρονοσειρών των ημερήσιων τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) της περιόδου 1990-1997, διαπιστώνονται τα εξής :

- Η ετήσια πορεία των τιμών του PSI χαρακτηρίζεται, για τους σταθμούς του κέντρου της Αθήνας με μεγάλη κυκλοφορία αυτοκινήτων, από μέγιστο το χειμώνα και ελάχιστο το καλοκαίρι. Αντίθετα, για τους σταθμούς που βρίσκονται στις παρυφές της ΕΠΑ, η ετήσια πορεία χαρακτηρίζεται από μέγιστο στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους και ελάχιστο στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Τέλος, υπάρχουν και σταθμοί των οποίων η ετήσια πορεία χαρακτηρίζεται από ένα πρωτεύον μέγιστο που εμφανίζεται το καλοκαίρι και ένα δευτερεύον μέγιστο που εμφανίζεται το χειμώνα.
- Η διαχρονική εξέλιξη των μηνιαίων τιμών του PSI, στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο, με βάση τη στατιστική ανάλυση Mann-Kendall, διαπιστώνεται ότι είναι πτωτική σε όλους σχεδόν τους σταθμούς. Εξαιρέση αποτελούν οι σταθμοί που βρίσκονται στις παρυφές της ΕΠΑ και αυτοί είναι η “Νέα Σμύρνη”, το “Περιστέρι” και το “Μαρούσι”.
- Από τη χωρική κατανομή των τιμών του PSI για τους μήνες του έτους, διαπιστώνεται ότι η ποιότητα του αέρα στο κέντρο της πόλης της Αθήνας παραμένει περίπου σταθερή σε ολόκληρη τη διάρκεια του έτους και μάλιστα βρίσκεται στο επίπεδο της “μέτριας”. Αντίθετα, η ποιότητα του αέρα στην υπόλοιπη περιοχή της ΕΠΑ μεταβάλλεται. Ειδικότερα, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες παρατηρείται βελτίωση της ποιότητας του αέρα, που φθάνει ακόμη και στο επίπεδο της “καλής”, κατά τους μήνες Μάιο – Σεπτέμβριο παρατηρείται υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα η οποία φθάνει στο έσχατο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλεξανδρόπουλος, Αντ., Αθ. Παλιατσός, Γ. Σοφιανός (1995). Βασικά Θέματα Αριθμητικής Ανάλυσης. Αθήνα, σ. 224.
- Alexopoulos, A., and D. Asimacopoulos (1993). Model for traffic emissions estimation. *Atmosph. Environ.*, 27B, 445-456.
- Βασιλικιώτης, Γ.Σ. (1989). Χημεία Περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη, σ. 231.
- Βίγλας, Π., Ο. Γωγούσος και Λ. Βύρας (1998). Μετρήσεις όζοντος σε αγροτική περιοχή (Αλιάρτος-Βοιωτίας). Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου Μετεωρολογία-Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Αθήνα, 1998, 405-411.
- 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.
- Kalabokas, P.D., L.G. Viras, C.C. Repapis, J.G. Bartzis (1999). Analysis of the 11-year record (1987-1997) of air pollution measurements in Athens, Greece. Part II: Photochemical pollutants. *Global Nest: The International Journal*, 1, 3, 169-176.
- Katsoulis, B.D. (1988). Some Meteorological Aspects of Air Pollution in Athens, Greece. *Meteor. Atmosph. Phys.*, 39, 203 – 212.
- Katsouyanni, K., A. Pantasopoulou, G. Touloumi, K. Moustris, 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. *Arch. Environ. Health*, 48, 235-242
- Kley, D. (1997). Tropospheric chemistry and transport. *Science*, 276, 1043-1044.

- Mantis, H.T., C.C. Repapis, Zerefos, and I.C. Ziomas (1999). Assessment of the potential of photochemical air pollution in Athens: A comparison of emissions of air pollution levels in Athens with those in Los Angeles. *J. Appl. Meteor.*, 31, 1467-1476
- Mitchel, J.M. (1996). Climatic change. WMO Techn. Note No 79, Geneva, pp. 79.
- Ott, W.R. and G.C. Thom (1976a). A critical review of air pollution index systems in the United States and Canada. *JAPCA*, 26, 460-470.
- Ott, W.R. and W.F. Hunt (1976b). A quantitative evaluation of the pollutant standards index. *JAPCA*, 26, 1050-1054.
- Paliatsos, A.G. (1997). Twenty years of regular SO₂ measurements in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 6, 655-660.
- Παλιατσός, Α.Γ. (1999). Σημειώσεις του μαθήματος "Περιβατολογία". Αθήνα, σ. 104.
- Thom, G.C. and W.R. Ott (1976). A proposed uniform air pollution index. *Atmosph. Environ.*, 10, 261-264.
- ΠΕΡΠΑ (1989). Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην περιοχή της Αθήνας-Τεχνική Έκθεση, Τόμος 2, Πηγές Ρύπανσης, Αθήνα, σ. 400.
- Τσελεπιδάκι, Η., Β. Κατσούλης και Δ. Λάλας (1983). Μερικές απόψεις για το φαινόμενο των αναστροφών θερμοκρασίας επιφανείας πάνω από την Αθήνα. Πρακτικά 2ου Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Ρευστομηχανικής, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 23-24 Νοεμβρίου 1983, 17-39.
- Viras, L.G., and P.A. Siskos (1992). Air pollution by gaseous pollutants in Athens, Greece. In J.O. Nyiagy (Ed.), *Gaseous Pollutants: Characterization and Cycling*. Wiley, New York, 271-305.

- Viras, L.G., A.G. Paliatsos, A.G. Fotopoulos (1996). Nine year trend of air pollution by CO in Athens, Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, 40, 203-214.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (1997). Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα-1996. Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Διεύθυνση Ε.Α.Ρ.Θ., Αθήνα, σ. 56.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (1998). Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα-1997. Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Διεύθυνση Ε.Α.Ρ.Θ., Αθήνα, σ. 59.
- Ζερεφός, Χ.Σ. (1984). Μαθήματα Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Φυσικής περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη, σ. 381.
- Ziomas, I.C., P. Suppan, B. Rappengluch, D. Balis, P. Tzoumaka, D. Melas, A. Papayannis, P. Fabian, and C.S. Zerefos (1995). A contribution to the study of photochemical smog in the Greater Athens Area. *Beitr. Phys. Atmosph.*, 68, 198-203

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

Α. Γ. Παλιατσός¹, Κ. Β. Κουκουλέτσος¹, Π. Θ. Νάστος², Κ. Μ. Φιλάνδρας³,
Δ. Α. Βαρβαρίγος⁴, Ν. Φ. Ζαρονικόλας⁴

¹ Γενικό Τμήμα Μαθηματικών, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Θηβών 250 και Π. Ράλλη, 122 44 Αθήνα.

² Εργαστήριο Κλιματολογίας, Γεωλογικό Τμήμα, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, 15784 Αθήνα.

³ Κέντρο Ερεύνης Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας, Ακαδημία Αθηνών, 3ης Σεπτεμβρίου 131, 112 51 Αθήνα.

⁴ Τμήμα Πολιτικών Δομικών Έργων, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Θηβών 250 και Π. Ράλλη, 122 44 Αθήνα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετάται η ποιότητα της ατμόσφαιρας στην Ευρύτερη Περιοχή της Αθήνας (ΕΠΑ), με χρήση περιβαλλοντικών δεικτών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα και όζοντος. Συγκεκριμένα, για τη χρονική περίοδο 1990-1997, υπολογίζονται οι τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) και συγκρίνονται με τα όρια πινάκα αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας από τη διεθνή βιβλιογραφία. Μελετώνται επίσης οι τάσεις που εμφανίζουν οι μηνιαίες τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης στους σταθμούς του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ποιότητα ατμόσφαιρας, τυπικός δείκτης ρύπανσης, Αθήνα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Αθήνα, από το 1973 άρχισαν να εμφανίζονται επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης που συνδέονται με την παρουσία του "νέφους" της Αθήνας. Τα επεισόδια αυτά, μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του '80, χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές συγκεντρώσεων καπνού και διοξειδίου του θείου σε ημέρες που επικρατούν δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες στην Ευρύτερη Περιοχή της Αθήνας (ΕΠΑ)^[1,2]. 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), όσον αφορά το όζον και τα οξείδια του αζώτου^[3,4]. 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 ΕΠΑ^[5], μιας περιοχής που κατοικείται τα τελευταία χρόνια από το 1/3 του συνολικού πληθυσμού της χώρας, με μεγάλη πυκνότητα κτιριακών συγκροτημάτων, με στενούς δρόμους και έλλειψη σε χώρους πρασίνου και εμφανίζει μεγάλη εμπορική και βιομηχανική δραστηριότητα, με αποτέλεσμα η αντιμετώπιση των επεισοδίων ρύπανσης που εμφανίζονται σε αυτήν να είναι αρκετά δύσκολο έργο. Η Αθήνα βρίσκεται στο Λεκανοπέδιο της Αττικής, σε μία περιοχή με σχετικά μικρή έκταση (περίπου 450 km²) που είναι διατεταγμένη στον ΒΑ άξονα και περικλείεται από τα βουνά της Πάρνηθας, του Υμηττού, της Πεντέλης και του Αιγάλεω, ενώ η νότια πλευρά της ορίζεται από τον Σαρωνικό κόλπο. Μεταξύ των βουνών υπάρχουν μικρά φυσικά γεωγραφικά ανοίγματα, όπως υπάρχουν και κάποιοι λόφοι με σημαντικότερους την Ακρόπολη και τον Λυκαβηττό. Σαν επακόλουθο

της ύπαρξης αυτού του ορεινού όγκου γύρω από το Λεκανοπέδιο της Αθήνας, είναι η δημιουργία φυσικού φράγματος στη διασπορά των ρύπων και έτσι η μόνη διέξοδος είναι αυτή προς τη θάλασσα. Από την άποψη της διεύθυνσης οι επικρατέστεροι άνεμοι που πνέουν στο Λεκανοπέδιο είναι οι Βόρειοι, σημαντικοί όμως είναι και οι νότιοι και νοτιοδυτικοί άνεμοι που αποδίδονται στην επίδραση της θάλασσας. Από την άποψη της έντασης, μεγάλη συχνότητα εμφανίζουν οι άπνοιες (κυρίως την άνοιξη και το φθινόπωρο).

2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Είναι γνωστό ότι χρησιμοποιούνται διάφορα κριτήρια για την αποτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας σε ρυπασμένες 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^[6-9].

Πίνακας 1. Κλίμακα εκτίμησης της ποιότητας του αέρα με βάση τις τιμές του δείκτη PSI και πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής		
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

Για να εκτιμηθεί η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα μιας περιοχής είναι δυνατή η χρησιμοποίηση περιβαλλοντικών δεικτών. Ένας τέτοιος δείκτης 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^[7,10,11], με αντικειμενικό σκοπό την τυποποίηση των εκθέσεων που αναφέρονταν στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Επίσης απέβλεπαν στη διευκόλυνση των συγκρίσεων που σχετιζόνταν 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 ατμοσφαιρικών ρύπων σε απλές αριθμητικές τιμές που κυμαίνονται από 0 μέχρι 500 και αυτές με τη σειρά τους αντιστοιχίζονται σε κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας. Οπότε ο δείκτης PSI καθορίζει την ποιότητα της ατμόσφαιρας σύμφωνα με το σχετικό πίνακα αποτίμησης (Πίνακας 1). Στον ίδιο πίνακα, σε σχέση με την τιμή του δείκτη PSI, απεικονίζεται η κλίμακα συσχέτισης της ποιότητας της ατμόσφαιρας με επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής^[12].

Υπάρχουν έξι επιμέρους δείκτες που καθορίζουν την τιμή του PSI, με βάση τη σχέση (1), όπου I_1 είναι ο επιμέρους δείκτης οι τιμές του οποίου καθορίζονται από τις συγκεντρώσεις

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

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						
I	TSP 24 hr	SO ₂ 24 hr	TSP* SO ₂	CO 8 hr	O ₃ 1 hr	NO ₂ 1 hr
	μgr/m ³	μgr/m ³	(μgr/m ³) ²	mgr/m ³	μgr/m ³	μgr/m ³
0	8	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

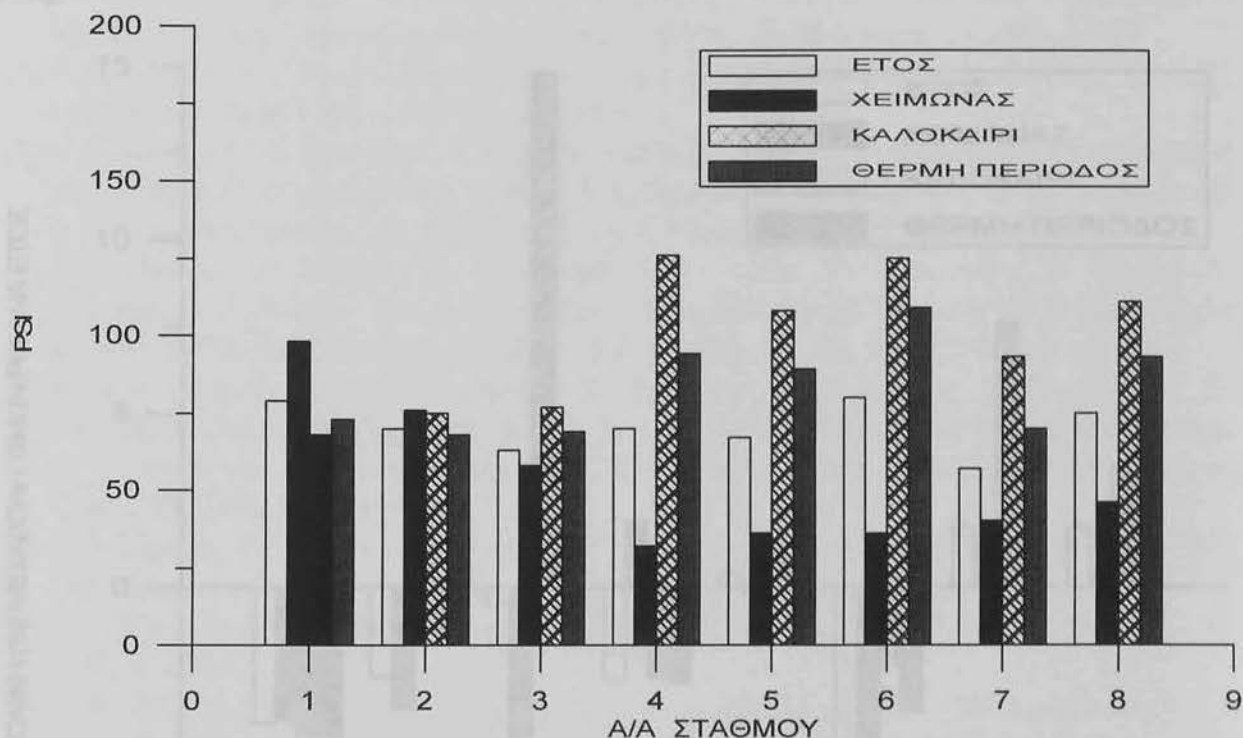
Ο υπολογισμός της τιμής του δείκτη PSI αρχίζει με τον υπολογισμό των τιμών των επιμέρους δεικτών κάθε ρύπου (Πίνακας 2). Από τον ίδιο πίνακα διαπιστώνεται ότι κάθε επιμέρους δείκτης είναι συνεχής και κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση της συγκέντρωσης του ρύπου. Με βάση την κατά τμήματα παρατηρούμενη γραμμικότητα και με κατάλληλη μέθοδο παρεμβολής, γίνεται υπολογισμός των τιμών του κάθε επιμέρους δείκτη, σε σχέση με τη συγκέντρωση του ρύπου από τον οποίο εξαρτάται^[6,11].

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την πραγματοποίηση αυτής της μελέτης ελήφθησαν από το δίκτυο των σταθμών της ΕΑΡΘ/ΥΠΕΧΩΔΕ που βρίσκονται εγκατεστημένοι στην ΕΠΑ^[13], οι χρονοσειρές των ωριαίων συγκεντρώσεων του όζοντος, του διοξειδίου του θείου, του διοξειδίου του αζώτου καθώς και του μονοξειδίου του άνθρακα.

Από την επεξεργασία των χρονοσειρών της περιόδου 1990-1997, με τις ανά ημέρα μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις όζοντος, διοξειδίου του θείου, διοξειδίου του αζώτου καθώς και τις μέγιστες οκτάωρες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα, των σταθμών της ΕΠΑ, διαπιστώθηκε ότι αφενός μεν οι μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου κυμαίνονται σε επίπεδα πολύ χαμηλότερα των 1130 μgr/m³, αφετέρου δε οι μέγιστες ωριαίες

συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου ελάχιστα συμμετέχουν στον καθορισμό των τιμών του PSI και αυτό περιορίζεται μόνο στους σταθμούς του κέντρου της Αθήνας («Πατησίων» και «Αθηνάς»). Η συμμετοχή δε αυτή βαθμιαία φθίνει και το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στη διαρκή τάση μείωσης που εμφανίζουν οι συγκεντρώσεις του συγκεκριμένου ρύπου σε όλους τους σταθμούς της ΕΠΑ^[13].



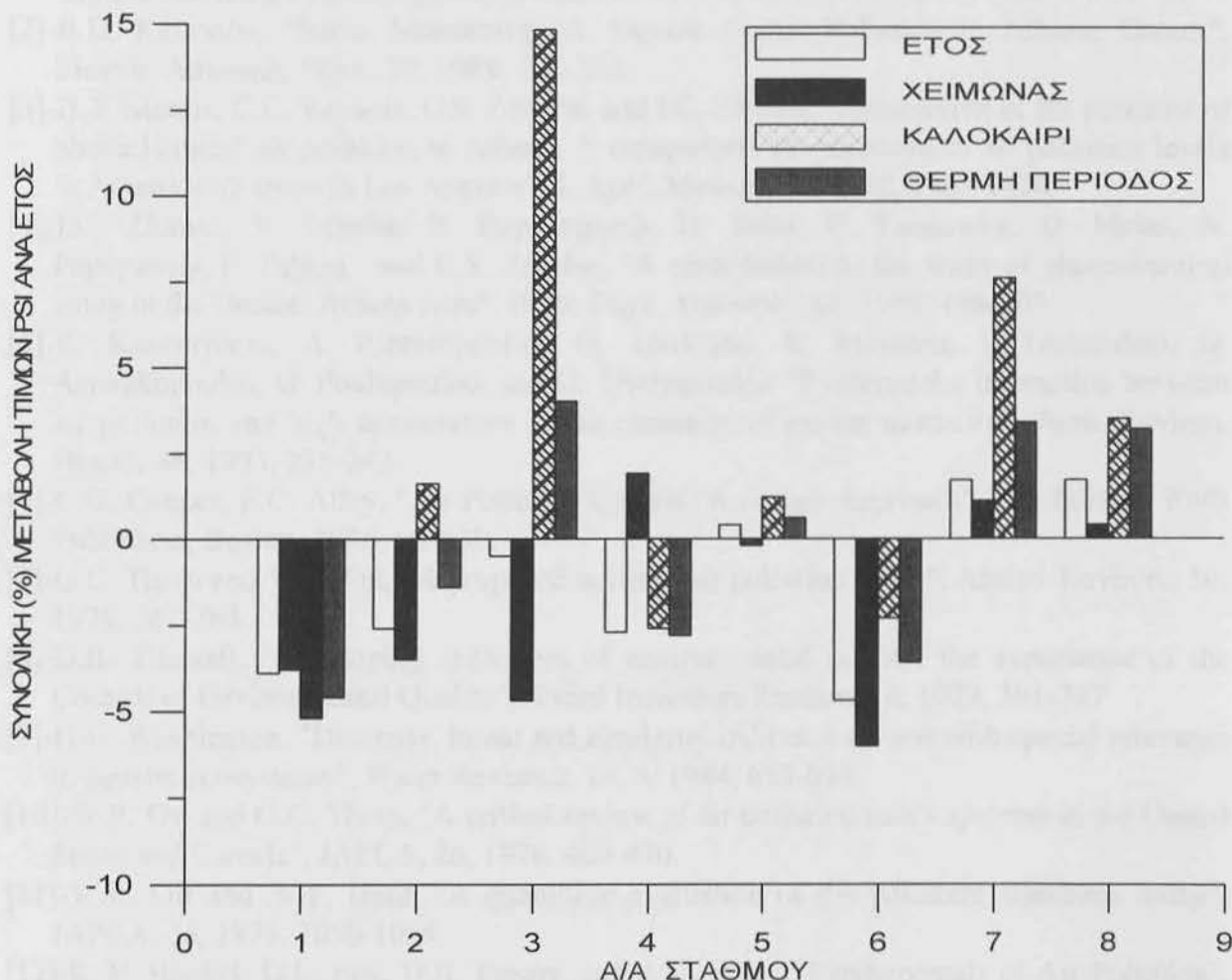
Σχ. 1. Μέσες τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης, για τις διάφορες χρονικές περιόδους, κάθε σταθμού («Πατησίων» (1), «Αθηνάς» (2), «Πειραιάς» (3), «Γεωπονική» (4), «Νέα Σμύρνη» (5), «Λιόσια» (6), «Περιστερί» (7) και «Μαρούσι» (8)).

Στο Σχ. 1 απεικονίζονται οι μέσες τιμές του PSI, της περιόδου 1990-1997, στους διάφορους σταθμούς παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ, για βασικές χρονικές περιόδους όπως το έτος (Ιανουάριος-Δεκέμβριος), ο χειμώνας (Δεκέμβριος-Φεβρουάριος), το καλοκαίρι (Ιούνιος-Αύγουστος) και η θερμή περίοδος (Απρίλιος-Οκτώβριος). Από το σχήμα αυτό διαπιστώνεται ότι οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται το καλοκαίρι και κατά τη θερμή περίοδο, στους σταθμούς εκείνους που κυρίαρχο ρόλο στον καθορισμό της τιμής του PSI παίζουν οι μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις όζοντος. Επίσης, για σταθμό του κέντρου της πόλης («Πατησίων») με μεγάλη κυκλοφορία αυτοκινήτων, η μεγαλύτερη μέση τιμή εμφανίζεται το χειμώνα και αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι στη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, ο καθορισμός των τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης εξαρτάται, σε ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 66.3% και 87.4%, από τις μέγιστες οκτάωρες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην ετήσια πορεία του CO που χαρακτηρίζεται από ένα πρωτεύον μέγιστο που εμφανίζεται το χειμώνα στο συγκεκριμένο σταθμό^[14].

Επίσης μελετάται η διαχρονική εξέλιξη των μηνιαίων τιμών του PSI, σε κάθε σταθμό παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ. Για τον έλεγχο των εμφανιζόμενων τάσεων, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου (1990-1997), εφαρμόζεται η ανάλυση Mann-Kendall^[15] στις χρονοσειρές των μηνιαίων τιμών του PSI, οπότε και διαπιστώνεται ότι οι εμφανιζόμενες τάσεις είναι καθοδικές, με εξαίρεση τους περιφερειακούς σταθμούς «Νέα Σμύρνη», «Περιστερί» και «Μαρούσι». Για την καλύτερη

εικόνα μεταβολής των τιμών του PSI, υπολογίζονται οι μέσες τιμές για κάθε έτος, χειμώνα, καλοκαίρι και θερμή περίοδο (Απρίλιο-Οκτώβριο).

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της ανάλυσης Mann-Kendall στις χρονοσειρές των ετήσιων τιμών, για διάφορες χρονικές περιόδους (έτος, χειμώνας, καλοκαίρι, θερμή περίοδος) κάθε σταθμού, εμφανίζονται στο Σχ. 2 με τη μορφή συνολικής (%) μεταβολής του PSI ανά έτος.



Σχ. 2. Αποτελέσματα εφαρμογής της ανάλυσης Mann-Kendall στις χρονοσειρές των ετήσιων τιμών του τυπικού δείκτη ρύπανσης κάθε σταθμού («Πατησίων» (1), «Αθηνάς» (2), «Πειραιάς» (3), «Γεωπονική» (4), «Νέα Σμύρνη» (5), «Λιόσια» (6), «Περιστέρι» (7) και «Μαρούσι» (8)), για τις διάφορες χρονικές περιόδους.

Όπως παρατηρούμε, στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο (1990-1997), οι ετήσιες τιμές του PSI εμφανίζουν γραμμική τάση μείωσης σχεδόν σε όλους τους σταθμούς του κέντρου της Αθήνας, μερικές δε από τις παρατηρούμενες μειώσεις είναι στατιστικά σημαντικές (σε επίπεδο σημαντικότητας 95%). Αντίθετα, στους περιφερειακούς σταθμούς («Περιστέρι» και «Μαρούσι») οι εμφανιζόμενες γραμμικές τάσεις είναι ανοδικές, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην ανοδική τάση που εμφανίζουν οι συγκεντρώσεις του όζοντος στους σταθμούς αυτούς. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να αποδοθεί στη μεγάλη πολυπλοκότητα τόσο της Χημείας, όσο και της Μετεωρολογίας που συντελούν στο σχηματισμό του όζοντος στις αστικές νησίδες^[16].

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο περιφερειακός σταθμός «Λιόσια» αποτελεί εξαίρεση διότι, στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο 1990-1996, οι εμφανιζόμενες τάσεις είναι

καθοδικές. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην καθοδική τάση που εμφανίζει η συγκέντρωση του όζοντος στο σταθμό αυτό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]-Η. Τσελεπιδάκι, Β. Κατσούλης και Δ. Λάλας, "Μερικές απόψεις για το φαινόμενο των αναστροφών θερμοκρασίας επιφανείας πάνω από την Αθήνα", Πρακτικά 2ου Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Ρευστομηχανικής, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 23-24 Νοεμβρίου 1983, 17-39.
- [2]-B.D. Katsoulis, "Some Meteorological Aspects of Air Pollution in Athens, Greece", *Meteor. Atmosph. Phys.*, 39, 1988, 203-212.
- [3]-H.T. Mantis, C.C. Repapis, C.S. Zerefos, and I.C. Ziomas, "Assessment of the potential of photochemical air pollution in Athens: A comparison of emissions of air pollution levels in Athens with those in Los Angeles", *J. Appl. Meteor.*, 31, 1992, 1467-1476.
- [4]-I.C. Ziomas, P. Suppan, B. Rappengluch, D. Balis, P. Tzoumaka, D. Melas, A. Papayannis, P. Fabian, and C.S. Zerefos, "A contribution to the study of photochemical smog in the Greater Athens Area", *Beitr. Phys. Atmosph.*, 68, 1995, 198-203
- [5]-K. Katsouyanni, A. Pantasopoulou, G. Touloumi, K. Moustris, I. Tselepidaki, D. Asimakopoulos, G. Pouloupoulou, and D. Trichopoulos, "Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality", *Arch. Environ. Health*, 48, 1993, 235-242.
- [6]-C.D. Cooper, F.C. Alley, "Air Pollution Control: A design Approach", 2nd Edition, PWS Publishers, Boston, 1986, pp. 630.
- [7]-G.C. Thom and W.R. Ott, "A proposed uniform air pollution index", *Atmos. Environ.*, 10, 1976, 261-264.
- [8]-D.B. Tunstall, "Developing indicators of environmental quality: the experience of the Council of Environmental Quality", *Social Indicators Research*, 6, 1979, 301-347
- [9]-H.G. Washington, "Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems", *Water Research*, 18, 6, 1984, 653-694.
- [10]-W.R. Ott and G.C. Thom, "A critical review of air pollution index systems in the United States and Canada", *JAPCA*, 26, 1976, 460-470.
- [11]-W.R. Ott and W.F. Hunt, "A quantitative evaluation of the pollutant standards index", *JAPCA*, 26, 1976, 1050-1054.
- [12]-R.W. Boubel, D.L. Fox, D.B. Turner, and A.C. Stern, "Fundamentals of Air Pollution", 3rd Edition, Academic Press, London, 1994, pp. 574.
- [13]-A.G. Paliatsos, "Twenty years of regular SO₂ measurements in Athens, Greece", *Fresenius Environmental Bulletin*, 6, 1997, 655-660.
- [14]-L.G. Viras, A.G. Paliatsos, A.G. Fotopoulos, "Nine year trend of air pollution by CO in Athens, Greece", *Environmental Monitoring and Assessment*, 40, 1996, 203-214.
- [15]-J.M. Mitchell, "Climatic Change", WMO Techn. Note No 79, Geneva, 1966, p79.
- [16]-Π. Βίγλας, Ο. Γωγούσος και Λ. Βύρας, "Μετρήσεις όζοντος σε αγροτική περιοχή (Αλιάρτος-Βοιωτίας)", Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου Μετεωρολογία-Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Αθήνα, 1998, 405-411.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Πρόλογος.....	1
- 1. Περιγραφή της Ατμόσφαιρας.....	2
- 2. Ρύπανση Αέρα.....	3
- 3. Πηγές Ρύπανσης.....	3
- 4. Ρυπαντικές Ουσίες.....	6
- 5. Μονοξείδιο του Άνθρακα.....	7
- 6. Διοξείδιο του Θείου.....	9
- 7. Αιωρούμενα Σωματίδια.....	13
- 8. Οξείδια του Αζώτου.....	21
- 9. Όζον.....	23
- 10. Υδρογονάνθρακες.....	25
- 11. Το Πρόβλημα της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.....	27
- 12. Η Ατμοσφαιρική Ρύπανση στην Αθήνα.....	30
- 13. Εκτίμηση της Ποιότητας της Ατμόσφαιρας.....	37
- 14. Η Επεξεργασία και Ανάλυση Δεδομένων.....	40
- 14.1. Ετήσια Πορεία.....	41
- 14.2. Διαχρονική Εξέλιξη.....	44
- 14.3. Χωρική Κατανομή.....	47
- 15. Συμπεράσματα.....	56
- Βιβλιογραφία.....	58
- Παράρτημα.....	61
- Περιεχόμενα.....	68