

ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

Νάστος Π.¹, Παλιατσός Α.², Νίκα Κ.¹, Ξηρού Κ.¹

¹ *Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αθηνών*

² *Γενικό Τμήμα Μαθηματικών, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά*

Περίληψη

Στην εργασία επιχειρείται η εκτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην Ευρύτερη Περιοχή της Αθήνας (ΕΠΑ), με τη χρήση περιβαλλοντικών δεικτών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται συγκεντρώσεις όζοντος, διοξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του θείου και μονοξειδίου του άνθρακα. Συγκεκριμένα, για τη χρονική περίοδο 1996-2000, υπολογίζονται οι τιμές του τυπικού δείκτη ρύπανσης (PSI) και συγκρίνονται με τα όρια πίνακα αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας από τη διεθνή βιβλιογραφία. Υπολογίζονται τα ποσοστά εμφάνισης κάθε κατηγορίας ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα στις διάφορες θέσεις καταγραφής των ατμοσφαιρικών ρύπων στην περιοχή ενδιαφέροντος. Επιχειρείται η εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων σχετικών με τις αιτίες που ευθύνονται για την υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στις διάφορες θέσεις μέτρησης και γίνεται συγκριτική αποτίμηση της ποιότητας του αέρα των περιοχών αυτών. Τέλος, μελετάται η χωρική κατανομή της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ΕΠΑ, για διάφορες χρονικές περιόδους, επιχειρείται δε η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με τις αιτίες που προκαλούν τις διάφορες χωρικές και χρονικές μεταβολές της ποιότητας της ατμόσφαιρας.

SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF AIR QUALITY IN GREATER ATHENS AREA

Nastos P.¹, Paliatsos A.², Nika K.¹, Xirou K.¹

¹ *Laboratory of Climatology and Atmospheric Environment, Department of Geology and Geoenvironment, University of Athens*

² *General Department of Mathematics, Technological and Education Institute of Piraeus*

Abstract

In the present work an assessment of the air quality in the Greater Athens Area (GAA) is attempted by the use of an environmental index. Data with respect to the air pollutants concentrations measured over this area through the years 1996-2000 are used for the calculation of the Pollutant Standard Index (PSI). PSI is a complex index and in this work is calculated by compounding appropriately the concentrations of ozone (O₃), nitrogen dioxide (NO₂), sulfur dioxide (SO₂) and carbon monoxide (CO). The spatial and temporal variation of the PSI is studied and the results are analyzed in terms of air pollution daily levels in the area. Air quality comparisons among regions within the broader area of the basin under study are also given.

Λέξεις κλειδιά: ποιότητα ατμόσφαιρας, τυπικός δείκτης ρύπανσης, χωρική κατανομή, Αθήνα.

Key words: air quality, pollutant standard index, spatial distribution, Athens.

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται συχνά υπερβάσεις των ορίων ποιότητας της ατμόσφαιρας, όπως αυτά έχουν καθοριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ). Αυτή λοιπόν η συχνή εμφάνιση τέτοιων υπερβάσεων, έχει ως αποτέλεσμα την επιδείνωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας αστικών και βιομηχανικών περιοχών (Παλιατσός κ. ά., 2001, 2004; Paliatsos et al., 2002a; Τριανταφύλλου κ. ά., 2002; Triantafyllou et al. 2002), γεγονός που συνδέεται άμεσα με την υγεία των κατοίκων αυτών των περιοχών (Katsouyanni et al., 1993, Nastos et al., 2003; Bartzokas et al., 2004; Paliatsos et al., 2006).

Από μελέτες που ήδη έχουν πραγματοποιηθεί έχει διαπιστωθεί ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας εξαρτάται τόσο από τις κατά τόπους επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες (Singapore Meteorological Service, 1995), όσο και από τις ιδιαιτερότητες των υπό μελέτη περιοχών (Παλιατσός κ.ά., 2001, 2004; Paliatsos et al., 2002; Τριανταφύλλου κ. ά., 2002; Triantafyllou et al., 2002).

Είναι γνωστό ότι χρησιμοποιούνται διάφορα κριτήρια για την εκτίμηση 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 χρησιμοποιηθούν από τους σχετιζόμενους με την αξιολόγηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας και να βοηθήσουν στη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων. Επίσης, οι περιβαλλοντικοί δείκτες παρέχουν τη δυνατότητα καλύτερης αποτίμησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας, δημιουργώντας παράλληλα δίκτυο ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης πληροφοριών και επιστημονικής τους ανάλυσης (Canter, 1997; Thom and Ott, 1976; Tunstall, 1979; Washington, 1984).

Για να εκτιμηθεί η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα μιας περιοχής είναι δυνατή η χρησιμοποίηση περιβαλλοντικών δεικτών. Ένας τέτοιος δείκτης είναι ο δείκτης ποιότητας του αέρα 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 and Thom, 1976; Ott and Hunt, 1976; Thom and Ott, 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 όζοντος, διοξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα και αιωρούμενων σωματιδίων. Είναι γνωστό ότι τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 μm (PM10) έχουν πολύ μικρή ταχύτητα πτώσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παραμένουν αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία των ανθρώπων είναι σημαντικές και καθορίζονται τόσο από το μέγεθος, όσο και από τη χημική τους σύσταση. Στο αναπνευστικό σύστημα εισέρχονται τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10 μm, που αποτελούν το εισπνεύσιμο κλάσμα των σωματιδίων. Μακροχρόνια εισπνοή σωματιδίων προκαλεί διάφορες μορφές πνευμονοκονιάσεων, άσθμα ή, και σε ορισμένες περιπτώσεις, καρκινογένεση.

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. Τιμές του δείκτη 0 - 50, 51 - 100, 101 - 200, 201 - 300 και 301 - 500, καθορίζουν ποιότητα ατμόσφαιρας "καλή" (I), "μέτρια" (II), "ανθυγιεινή" (III), "πολύ ανθυγιεινή" (IV) και "επικίνδυνη" (V) αντίστοιχα, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (Boubel et al., 1994), όπου αναφέρονται και πιθανές επιπτώσεις στην υγεία του

πληθυσμού. Οπότε ο δείκτης αυτός καθορίζει την ποιότητα της ατμόσφαιρας.

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

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

όπου του επιμέρους δείκτη I_1 οι τιμές καθορίζονται από τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων, του I_2 από τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου, του I_3 από τις συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα, του I_4 από τις συγκεντρώσεις του όζοντος και τέλος του I_5 από τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου. Οι τιμές κάθε επιμέρους δείκτη κυμαίνονται μεταξύ 0 και 500, όπου η τιμή 500 αντιστοιχεί σε τέτοιο υποβιβασμό της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, με επιπτώσεις ενδεχομένως πολύ επιβλαβείς για την υγεία του πληθυσμού της υπό μελέτη περιοχής. Ο υπολογισμός των τιμών κάθε επιμέρους δείκτη αναφέρεται σε προηγούμενες μελέτες (Παλιατσός κ.ά., 2001, 2004; Paliatsos et al., 2002a; Τριανταφύλλου κ.ά., 2002; Triantafyllou et al., 2002).

2. Επεξεργασία και Ανάλυση Δεδομένων

2.1. Μελέτη των επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας

Στη μελέτη αυτή υπολογίζονται οι τιμές του δείκτη PSI στην ΕΠΑ, όπου η υπό μελέτη περίοδος αναφέρεται στη 5-ετία 1996-2000. Για τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη PSI, στην υπό μελέτη περιοχή, λήφθηκαν τα δεδομένα των σταθμών που ανήκουν στο δίκτυο για την παρακολούθηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ, οι οποίοι λειτουργούν υπό την επίβλεψη της Διεύθυνσης Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (ΔΕΑΡΘ) του ΥΠΕΧΩΔΕ (Πίνακας 1). Τα δεδομένα αυτά είναι οι χρονοσειρές των ωριαίων συγκεντρώσεων του όζοντος, του διοξειδίου του θείου, του διοξειδίου του αζώτου καθώς και του μονοξειδίου του άνθρακα.

Από τις χρονοσειρές με 24-ωρες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου, κυλιόμενες μέσες 8-ωρες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα, ωριαίες συγκεντρώσεις όζοντος και ωριαίες συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου, στη διάρκεια της 5-ετούς χρονικής περιόδου, των υπό μελέτη σταθμών (Πίνακας 1), έγινε καθορισμός των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI, με βάση τη σχέση:

$$PSI = \max (I_2, I_3, I_4) \quad (2)$$

διότι η καταγραφή των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των 10 μm (PM_{10}) άρχισε από τον 10/2000 και οι ωριαίες τιμές διοξειδίου του αζώτου δεν ξεπέρασαν την οριακή τιμή των 1130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bouhel et al., 1994). Επιπλέον, προσδιορίστηκε ο ρύπος που διαμορφώνει τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI, ανά σταθμό.

Από την επεξεργασία των χρονοσειρών με τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI, για κάθε σταθμό στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου, διαπιστώθηκε ότι η ποιότητα της ατμόσφαιρας έφτασε μέχρι και την κατηγορία «III», σε όλους τους υπό μελέτη σταθμούς, εκτός του σταθμού «Πατησίων» όπου έφτασε μέχρι και την κατηγορία «IV».

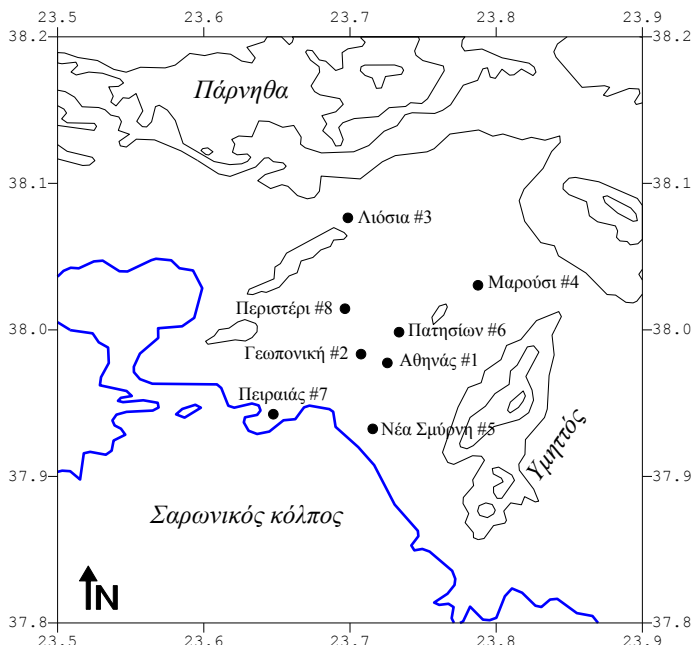
Από το Σχήμα 2 διαπιστώνεται ότι, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου, στην περιοχή του κέντρου της αστικής περιοχής της Αθήνας (σταθμοί #1 και #6), η ποιότητα της ατμόσφαιρας έφτασε μέχρι την κατηγορία «IV». Από τη μελέτη των ανά έτος ποσοστών εμφάνισης κάθε μιας από τις κατηγορίες ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα, στη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου, διαπιστώνεται μια σχετική βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, από τη διαχρονική εξέλιξη και τις παρατηρούμενες τάσεις των ετήσιων ποσοστών που παρουσιάζουν οι εμφανιζόμενες κατηγορίες ποιότητας της ατμόσφαιρας, διαπιστώνονται τα εξής: Η ποιότητα της ατμόσφαιρας βελτιώνεται, κατά τη διάρκεια της υπό μελέτη χρονικής περιόδου, σχεδόν σ' ολόκληρη την ΕΠΑ, με εξαίρεση τις περιοχές των περιφερειακών σταθμών «Γεωπονική» και «Λιόσια».

Όσον αφορά την παρατηρούμενη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, αυτή μπορεί να αποδοθεί στις καθοδικές τάσεις που εμφανίζουν οι «συνεισφέροντες» στον καθορισμό της τιμής του PSI ρύποι (σχέση (2), στην ατμόσφαιρα της ΕΠΑ (Kalabokas et al., 1999a; Paliatsos et al., 2002b). Ειδικότερα, η παρατηρούμενη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της ΕΠΑ, μπορεί να αποδοθεί στην πτωτική τάση που εμφανίζουν όλοι οι ρύποι στο σταθμό «Πατησίων», κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1986-2000 (Paliatsos et al., 2002b).

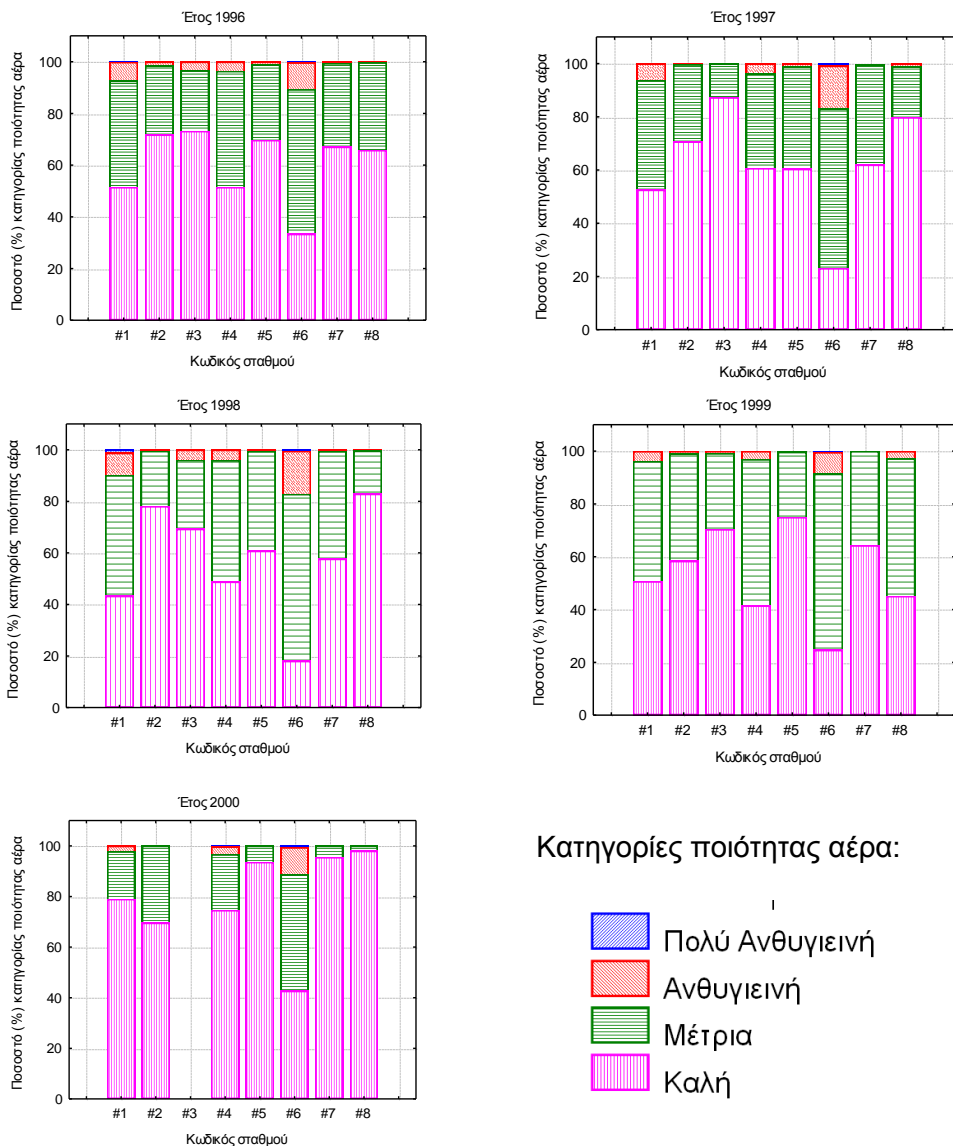
Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά σταθμών καταγραφής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της ΔΕΑΡΘ.

Όνομα (#κωδικός)	Θέση			Χαρακτηρισμός
	Γεωγρ. μήκος	Γεωγρ. πλάτος	Υψόμετρο (m -asl)	
Αθηνάς (#1)	23° 43' 30''	37° 58' 42''	100	Αστικός-Κυκλοφορίας
Γεωπονική (#2)	23° 42' 25''	37° 59' 01''	50	Περισσικός-Βιομηχανικός
Λιόσια (#3)	23° 41' 52''	38° 04' 36''	165	Περισσικός-Υποβάθρου
Μαρούσι (#4)	23° 47' 14''	38° 01' 51''	145	Αστικός-Κυκλοφορίας
Νέα Σμύρνη (#5)	23° 42' 54''	37° 55' 58''	50	Αστικός-Υποβάθρου
Πατησίων (#6)	23° 43' 59''	37° 59' 57''	105	Αστικός-Κυκλοφορίας
Πειραιάς (#7)	23° 38' 51''	37° 56' 36''	20	Αστικός-Κυκλοφορίας
Περιστερί (#8)	23° 41' 46''	38° 00' 55''	80	Αστικός-Υποβάθρου

Στο Σχήμα 1 εμφανίζεται η χωρική κατανομή των υπό μελέτη σταθμών του δικτύου της ΔΕΑΡΘ για την καταγραφή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ΕΠΑ.



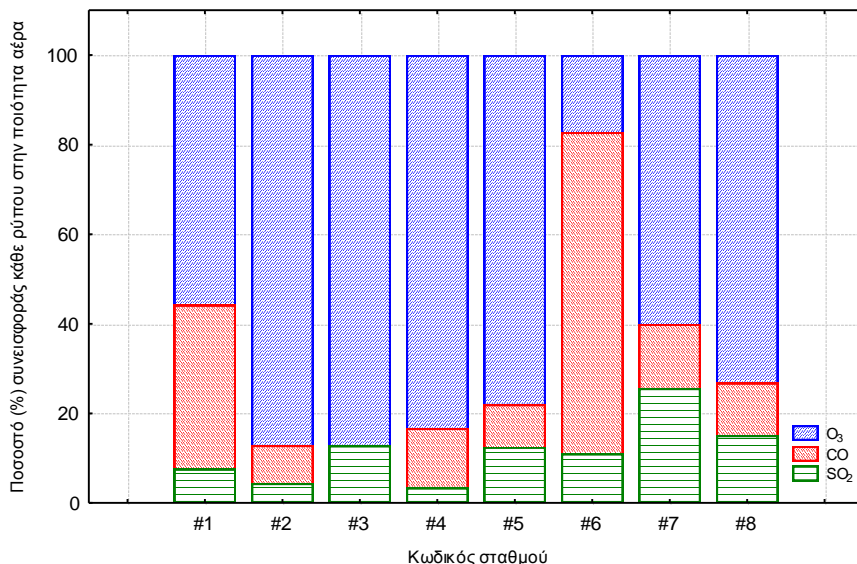
Σχήμα 1. Χωρική κατανομή των υπό μελέτη σταθμών της ΔΕΑΡΘ, στην ΕΠΑ.



Σχήμα 2. Ποσοστιαία (%) ανά έτος ποιότητα ατμόσφαιρας για τη χρονική περίοδο 1996-2000, σε κάθε σταθμό του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της ΔΕΑΡΘ.

2.2. Μελέτη της συνεισφοράς των ρύπων στη διαμόρφωση επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας

Στο Σχήμα 3 εμφανίζεται για κάθε σταθμό του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της ΔΕΑΡΘ, όπως αυτοί εμφανίζονται στον Πίνακα 1, η συνεισφορά των συγκεντρώσεων των ρύπων που εμπλέκονται στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI, για τη χρονική περίοδο 1996-2000.



Σχήμα 3. Ποσοστιαία (%) συνεισφορά των συγκεντρώσεων των εμπλεκόμενων ρύπων, στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI για τη χρονική περίοδο 1996-2000, σε κάθε σταθμό του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της ΔΕΑΡΘ.

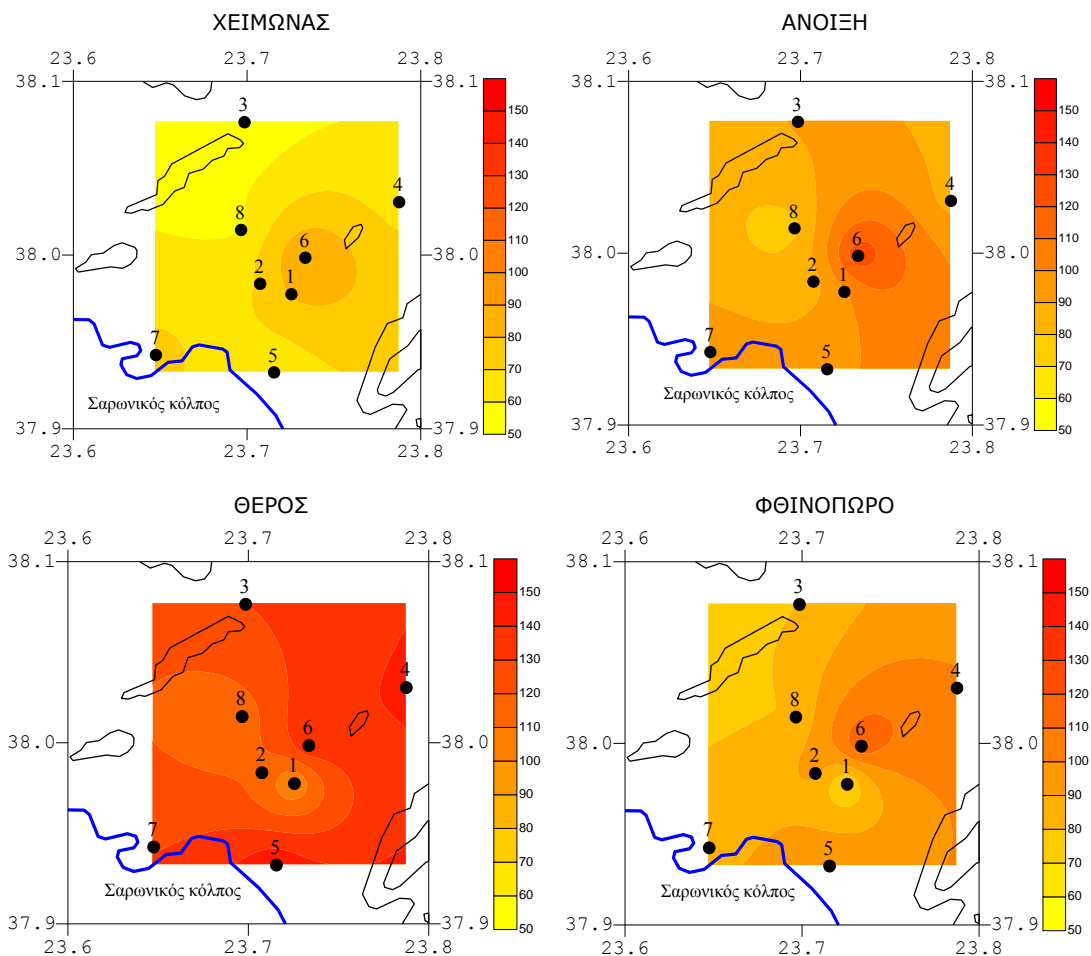
Από το Σχήμα 3 διαπιστώνεται ότι, στη διάρκεια της 5-ετούς χρονικής περιόδου 1996-2000, το CO είναι ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της ΕΠΑ, διότι αυτός καθορίζει τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI στους σταθμούς «Πατησίων» σε ποσοστό 72%, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην έντονη κυκλοφορία των αυτοκινήτων που χαρακτηρίζει την περιοχή του συγκεκριμένου σταθμού, δεδομένου ότι ο συγκεκριμένος σταθμός (Πίνακας 1) χαρακτηρίζεται σαν στατικός με έντονο κυκλοφοριακό φόρτο (Viras et al., 1996). Για τους υπόλοιπους σταθμούς του δικτύου, το O₃ αποτελεί τον υπεύθυνο ρύπο για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στην περιφέρεια της ΕΠΑ, το δε ποσοστό της συνεισφοράς του στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη κυμαίνεται μεταξύ 60% και 87%. Συγκρίνοντας την ποσοστιαία συνεισφορά των συγκεντρώσεων των εμπλεκόμενων ρύπων στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI κατά τη χρονική περίοδο 1996-2000, σε κάθε σταθμό του δικτύου παρακολούθησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της ΔΕΑΡΘ, διαπιστώνεται πλήρης ομοιότητα με την αντίστοιχη ποσοστιαία συνεισφορά που υπολογίσθηκε για τη χρονική περίοδο 1990-1999 (Paliatsos et al., 2002a).

2.3. Μελέτη της χωρικής κατανομής των επιπέδων ποιότητας της ατμόσφαιρας

Η χωρική κατανομή των μέσων εποχικών τιμών του δείκτη PSI στην ΕΠΑ, για τη χρονική περίοδο 1996 – 2000, εμφανίζεται στο Σχήμα 4. Από αυτό διαπιστώνονται τα εξής:

Το χειμώνα (Δεκέμβριος – Φεβρουάριος) η ποιότητα της ατμόσφαιρας στο μεν κέντρο της ΕΠΑ κυμαίνεται μεταξύ των κατηγοριών «I» και «III», στα ΒΔ τμήματα της ΕΠΑ η ποιότητα βελτιώνεται διατηρούμενη οριακά στο επίπεδο της «I» και τέλος στην υπόλοιπη περιοχή βελτιώνεται λιγότερο διατηρούμενη στην κατηγορία «II».

Τη άνοιξη (Μάρτιος – Μάιος) η ποιότητα της ατμόσφαιρας στο μεν κέντρο της ΕΠΑ υποβαθμίζεται διατηρούμενη στο επίπεδο της κατηγορίας «III», ενώ στην υπόλοιπη περιοχή υπάρχει σχετική βελτίωση διότι κυμαίνεται μεταξύ των κατηγοριών «II» και «III».



Σχήμα 4. Χωρική κατανομή των μέσων εποχικών τιμών του δείκτη PSI, για τη χρονική περίοδο 1996-2000, στην ΕΠΑ.

Το θέρος (Ιούνιος – Αύγουστος) η ποιότητα της ατμόσφαιρας σε ολόκληρη την ΕΠΑ είναι υποβαθμισμένη διότι βρίσκεται στο επίπεδο της κατηγορίας «ΙΙΙ» και τέλος το Φθινόπωρο (Σεπτέμβριος – Νοέμβριος) η ποιότητα της ατμόσφαιρας σε ολόκληρη την ΕΠΑ βελτιώνεται διατηρούμενη στα επίπεδα της κατηγορίας «ΙΙ».

Η χωρική αυτή κατανομή μπορεί, πολύ εύκολα, να ερμηνευθεί από την ποσοστιαία (%) συνεισφορά των συγκεντρώσεων των ρύπων που εμπλέκονται στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI (Σχήμα 3) για την υπό μελέτη χρονική περίοδο. Πράγματι, από το Σχήμα διαπιστώνεται ότι στους σταθμούς του κέντρου, «Πατησίων» πρωτίστως και «Αθηνάς» δευτερευόντως, το μεγαλύτερο ποσοστό συνεισφοράς έχει το μονοξείδιο του άνθρακα. Ο ρύπος αυτός είναι γνωστό ότι εμφανίζει το μέγιστο της ετήσιας πορείας του κατά τη ψυχρή περίοδο του έτους (Viras et al., 1996; Paliatsos, et al., 2002b), γεγονός που ερμηνεύει την υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της πόλης στη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Επίσης, από το ίδιο σχήμα διαπιστώνεται ότι στους

υπόλοιπους σταθμούς το μεγαλύτερο ποσοστό συνεισφοράς έχει το όζον. Όπως είναι γνωστό ο ρύπος αυτός εμφανίζει ετήσια πορεία περίπου όμοια με την ετήσια πορεία της ηλιακής δραστηριότητας. Άρα, το μέγιστο της ετήσιας πορείας του όζοντος εμφανίζεται το καλοκαίρι (Kalabokas et al., 1999b), γεγονός που ερμηνεύει την υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην περιφέρεια της ΕΠΑ στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους, με μέγιστο το θέρος.

3. Συμπεράσματα

Από την επεξεργασία των χρονοσειρών με τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PSI, στη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1996-2000, για την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην ΕΠΑ, διαπιστώνονται τα εξής:

Κατά την εξεταζόμενη πενταετία, στο κέντρο της ΕΠΑ, η ποιότητα της ατμόσφαιρας έφτασε μέχρι και την κατηγορία «πολύ ανθυγιεινή», σε αντίθεση με την περιφέρεια όπου η ποιότητα κυμάνθηκε στα επίπεδα της «ανθυγιεινής». Η διαχρονική εξέλιξη των ετήσιων ποσοστών των εμφανιζόμενων κατηγοριών ποιότητας της ατμόσφαιρας εμφανίζει βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, στο κέντρο της υπό μελέτη περιοχής.

Από τη μελέτη της συνεισφοράς των συγκεντρώσεων των ρύπων που εμπλέκονται στη διαμόρφωση των ημερήσιων τιμών του δείκτη PSI, κατά την εξεταζόμενη χρονική περίοδο, το CO βρέθηκε να είναι ο υπεύθυνος ρύπος για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιρας στο κέντρο της ΕΠΑ, ενώ για την υπόλοιπη περιοχή βρέθηκε το O₃ να αποτελεί τον υπεύθυνο ρύπο για τον καθορισμό του επιπέδου των τιμών ποιότητας της ατμόσφαιράς της.

Τέλος, η χωρική κατανομή των μέσων εποχικών τιμών του δείκτη PSI στην ΕΠΑ, στην εξεταζόμενη 5-ετία, εμφανίζει ανεκτά επίπεδα ποιότητας ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Μερική υποβάθμιση παρατηρείται το φθινόπωρο, η οποία την άνοιξη γίνεται εντονότερη και τέλος το καλοκαίρι η υποβάθμιση είναι πλήρης με αιχμή την περιφέρεια της ΕΠΑ.

Βιβλιογραφία

Bartzokas A., P. Kassomenos, M. Petrakis, C. Celessides, 2004: The effect of meteorological and pollution parameters on the frequency of hospital admissions for cardiovascular and respiratory problems in Athens. *Indoor and Built Environment*. 13, 271-275.

Boubel R.W., D.L. Fox, D.B. Turner and A.C. Stern, 1994: *Fundamentals of Air Pollution*. 3rd Edition, Academic Press.

Canter L., 1997: *Environmental Impact Assessment*, 2nd Edition, McGraw Hill.

Kalabokas P.D., L.G. Viras, C.C. Repapis, J.G. Bartzis, 1999a: Analysis of the 11-year record (1987-1997) of air pollution measurements in Athens, Greece. Part I: Primary air pollutants. *Global Nest: the International Journal*. 1, 157-167.

Kalabokas P.D., L.G. Viras, C.C. Repapis, J.G. Bartzis, 1999b: Analysis of the 11-year record (1987-1997) of air pollution measurements in Athens, Greece. Part II: Photochemical air pollutants. *Global Nest: the International Journal*. 1, 169-176.

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. *Archives of Environmental Health*. 48, 235-242.

Nastos P.T., A.G. Paliatsos, D.B. Panagiotakos, A. Antoniou, C. Chrysohoou, C. Pitsavos and P.K. Toutouzias, 2003: Associations between primary air pollutants and cardiovascular

mortality, in Athens. Proceedings of the 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Lemnos Island, Greece, 8-10 September 2003, 612-619.

Ott W.R. and G.C. Thom, 1976: A critical review of air pollution index systems in the United States and Canada. *Journal of Air Pollution Control Association*. 26, 460-470.

Ott W.R. and W.F. Hunt, 1976: A quantitative evaluation of the pollutant standards index. *Journal of Air Pollution Control Association*, 26, 1050-1054.

Παλιατσός Α.Γ., Κ.Β. Κουκουλέτσος, Π.Θ. Νάστος, Κ.Μ. Φιλάνδρας, Δ.Α. Βαρβαρίγος και Ν.Φ. Ζαρνικόλας, 2001: Μεταβολή της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Περιβάλλοντος της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών, Καλαμπάκα, 26-28 Ιανουαρίου 2001.

Paliatsos A.G., J.K. Kaldellis and P.Th. Nastos, 2002a: Assessment of air quality spatial distribution in the Greater Athens Area. Proceedings of the International Conference on "Protection and Restoration of the Environment VI", Skiathos, July 1-5, 2002, 1849-1854, A.G. Kungolos, A.B. Liakopoulos, G.P. Korfiatis, A.D. Koutsospyros, K.L. Katsifarakis, A.C. Demetracopoulos (Eds).

Paliatsos A.G., J.K. Kaldellis, P.S. Koronakis and J.E. Garofalakis, 2002b: Fifteen year air quality trends associated with the vehicle traffic in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*. 11, 1119-1126.

Παλιατσός Α.Γ., Α.Γ. Τριανταφύλλου και Κ. Τζιουβάρα, 2004: Διαχρονική μεταβολή της ποιότητας του αέρα σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές του Ελλαδικού χώρου. Πρακτικά 7ου Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας - Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Λευκωσία, Λευκωσία, 28-30 Σεπτεμβρίου 2004, τόμος Β, 873-880 (Σ. Χ. Μιχαηλίδης (εκδότης), ISBN - SET 9963-9160-0-7, ISBN 9963-9160-1-3).

Paliatsos, A.G., K.N. Priftis, I.C. Ziomas, P. Panagiotoπούλου-Gartagani, A. Nikolaou-Panagiotou, P. Tapratzi-Potamianou, A. Zachariadi-Xypolita, P. Nicolaidou and P. Saxoni-Papageorgiou, 2006: Association between ambient air pollution and childhood asthma in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15, 614-618.

Singapore Meteorological Service, 1995: Smoke haze over Singapore, Malaysia and Indonesia. *World Meteorological Organization*. 44, 147-150.

Thom G.C., and W.R. Ott, 1976: A proposed uniform air pollution index. *Atmospheric Environment*. 10, 261-264.

Triantafyllou A.G., A.G. Paliatsos, M. Voutsinas and I. Zuburtikudis, 2002: Air quality assessment in an industrial area by using environmental indicators. *Fresenius Environmental Bulletin*. 11, 933-939.

Τριανταφύλλου Α.Γ., Α.Γ. Παλιατσός και Μ. Βουτσινάς, 2002: Εκτίμηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας βιομηχανικής περιοχής με περιβαλλοντικούς δείκτες. Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Επιστημονικού Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας - Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Ιωάννινα, 25-28 Σεπτεμβρίου 2002, 455-463.

Tunstall D.B., 1979: Developing indicators of environmental quality: the experience of the Council of Environmental Quality. *Social Indicators Research*. 6, 301-347.

Viras, L.G., A.G. Paliatsos and A.G. Fotopoulos, 1996: Nine year trend of air pollution by CO in Athens, Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*. 40, 203-214.

Washington H.G., 1984: Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*. 18, 653-694.