

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ
Τμήμα Επιστημονικού & Αναπτυξιακού Έργου
Γραφείο Περιβάλλοντος

ΗΜΕΡΙΔΑ

**«ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΙΣ ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ –
ΝΕΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ»**

18 ΜΑΡΤΙΟΥ 2005

Θέμα: «Το πρόβλημα του όζοντος στην Ελλάδα»

Εισηγητής: **Ι. Ζιώμας**, Αναπλ. Καθηγητής, Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2005

Εισαγωγή

Το όζον, το πιο χαρακτηριστικό συστατικό της φωτοχημικής ρύπανσης, αποτελεί ένα άλυτο πρόβλημα για τις μεγάλες αστικές περιοχές της Ελλάδας. Η εμφάνιση του όζοντος σε υψηλές συγκεντρώσεις άρχισε να γίνεται αισθητή στην Αθήνα, στα μέσα της δεκαετίας του 1980, ενώ στη Θεσσαλονίκη περίπου μία δεκαετία αργότερα. Για τις υπόλοιπες αστικές περιοχές της Ελλάδας δεν υπάρχει επαρκής τεκμηρίωση για προβλήματα από το όζον και σίγουρα δεν έχει αποδειχτεί σημαντική τοπική παραγωγή. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990 τεκμηριώνεται επίσης η άποψη ότι το υπόβαθρο του όζοντος είναι υψηλό στο σύνολο της χώρας. Στην παρουσίαση αυτή γίνεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή στο πρόβλημα του όζοντος στη χώρα μας και αναλύονται οι λόγοι για τους οποίους ο ρύπος αυτός εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό πρόβλημα. Τέλος παρουσιάζεται συνοπτικά η μεθοδολογία που θα πρέπει να εφαρμοστεί για το σχεδιασμό και τον έλεγχο της απόδοσης μέτρων μείωσης του όζοντος στις αστικές περιοχές.

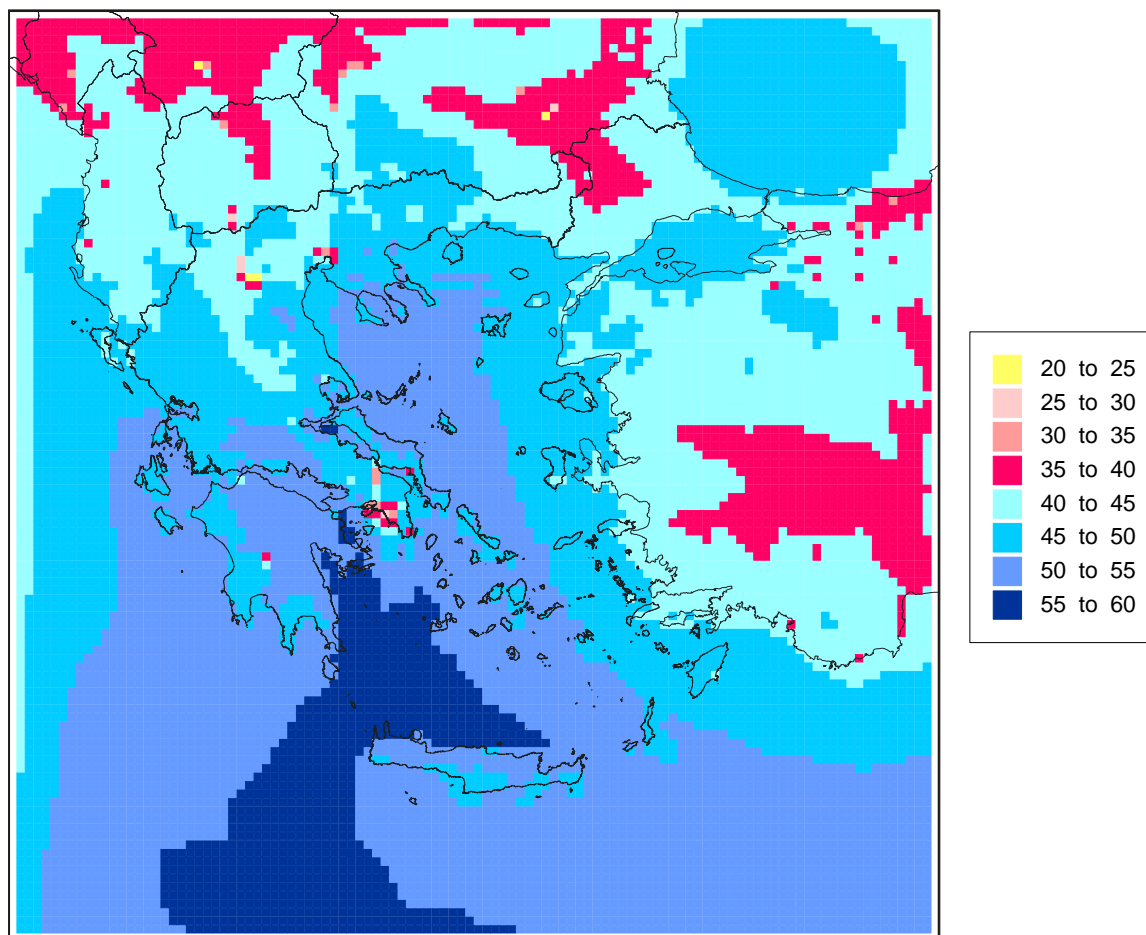
Το υπόβαθρο του όζοντος στην Ελλάδα

Από τα μέσα της προηγούμενης δεκαετίας έγιναν στην Ελλάδα σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες, μέσω προγραμμάτων που χρηματοδότησε η Ευρωπαϊκή Ένωση, για τη μελέτη των φαινομένων και των παραγόντων που καθορίζουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας στη νοτιοανατολική περιοχή της Μεσογείου. Χαρακτηριστικά αναφέρονται τα προγράμματα MEDCAPHOT-TRACE (1)(1994-96), PAUR I (1996-98) και PAUR II (1999-2001). Στα πλαίσια των προγραμμάτων αυτών έγιναν και οι πρώτες συστηματικές μετρήσεις όζοντος και άλλων φωτοχημικών ρύπων σε απομακρυσμένες περιοχές, με στόχο τον καθορισμό των συγκεντρώσεων υποβάθρου. Έτσι λοιπόν, τόσο οι αεροπορικές μετρήσεις (2) όσο και οι επίγειες, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι οι συγκεντρώσεις υποβάθρου του όζοντος στην ευρύτερη περιοχή των νοτιοανατολικών Βαλκανίων είναι υψηλές και κυμαίνονται από 60-120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Η ύπαρξη πλέον επαρκών πειραματικών δεδομένων και η ανάπτυξη λεπτομερών βάσεων δεδομένων με τις εκπομπές ρύπων από όλες τις σημαντικές δραστηριότητες(3), επέτρεψαν την επιτυχή εφαρμογή ατμοσφαιρικών μοντέλων διασποράς και φωτοχημείας σε διάφορες γεωγραφικές κλίμακες.

Η σημερινή εικόνα της γεωγραφικής κατανομής του όζοντος στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας κατά τη θερμή περίοδο, παρουσιάζεται στο Σχήμα 1(εφαρμογή του φωτοχημικού μοντέλου (UAM V) (4).

Mean O3 Concentrations (ppb)



Σχήμα 1. Η μέση συγκέντρωση του όζοντος στα νοτιοανατολικά Βαλκάνια κατά τη θερμή περίοδο του έτους 2000.

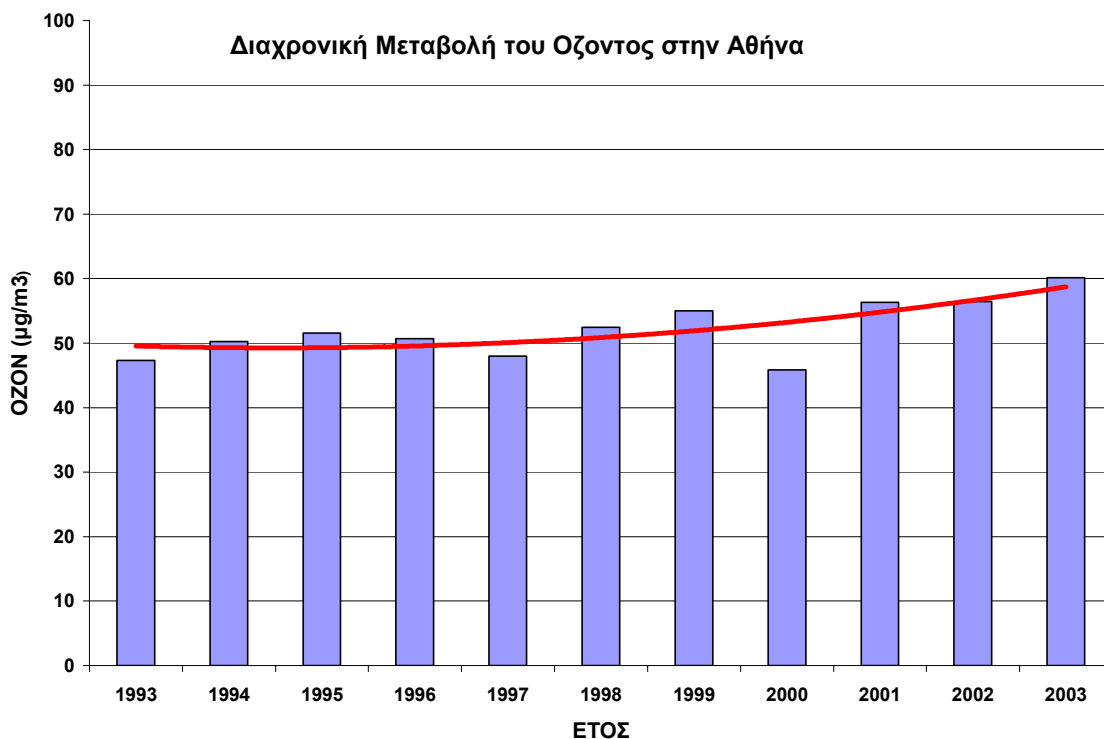
Διαχρονική μεταβολή του όζοντος στην Αθήνα

Οι σύγχρονες συστηματικές μετρήσεις του όζοντος στην Αθήνα άρχισαν περί τα μέσα της δεκαετίας του 1980 και συμπίπτουν με την εμφάνιση του φωτοχημικού νέφους. Από τότε έχουν δημοσιευθεί δεκάδες επιστημονικές εργασίες σχετικά με το θέμα αυτό, ενώ παράλληλα, κατά καιρούς, το πρόβλημα του όζοντος έχει αποτελέσει το κυρίαρχο θέμα στον έντυπο και ηλεκτρονικό τύπο.

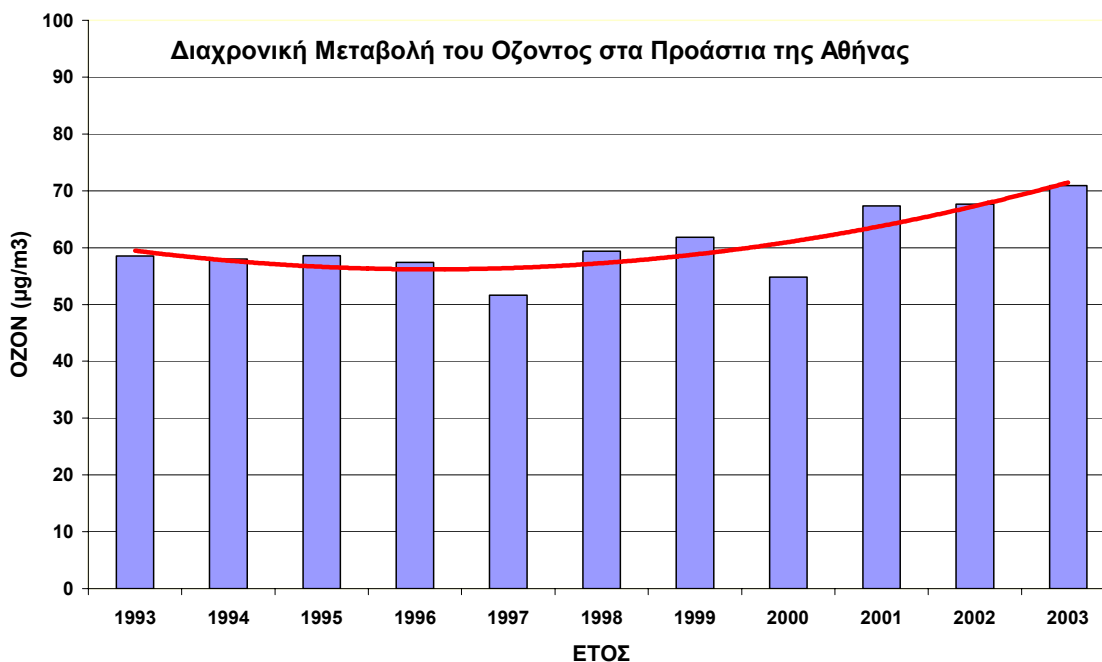
Η επέκταση του μετρητικού δικτύου του ΥΠΕΧΩΔΕ, που αριθμεί σήμερα 18 σταθμούς, έδωσε νέα στοιχεία και επιβεβαίωσε πειραματικά ευρήματα και θεωρητικές διαπιστώσεις της περασμένης δεκαετίας. Έτσι σήμερα είναι ξεκάθαρο ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του όζοντος εμφανίζονται στο βόρειο τμήμα του λεκανοπεδίου (παρυφές Πάρνηθας και Πεντέλης), ακολουθεί το ανατολικό τμήμα (παρυφές Υμηττού), ενώ στο κέντρο του λεκανοπεδίου το όζον είναι σαφώς λιγότερο και από τις συγκεντρώσεις υποβάθρου. Εκτός λεκανοπεδίου, πρόβλημα όζοντος εμφανίζεται πρόσφατα στο βόρειο τμήμα των Μεσογείων, λόγω της σημαντικής αύξησης των δραστηριοτήτων και της κυκλοφορίας στην περιοχή (Αττική οδός, νέο αεροδρόμιο, οικιστική ανάπτυξη κλπ).

Το βασικό ερώτημα που απασχολεί όμως ακόμα και σήμερα τους επιστήμονες είναι εάν και κατά πόσο το όζον έχει μειωθεί ή αυξηθεί στα χρόνια που πέρασαν. Η στατιστική ανάλυση των μετρήσεων από μεμονωμένους σταθμούς δεν έχει ιδιαίτερο νόημα, αφού οι συνεχείς αλλαγές στο λεκανοπέδιο (μεταβολές στη σύνθεση και στο μέγεθος του στόλου των οχημάτων, χρήση νέων καυσίμων, νέο οδικό δίκτυο και μέσα μεταφοράς) επιφέρουν προσωρινές ή μόνιμες μεταβολές στα χαρακτηριστικά των περιοχών μέτρησης. Πιο ασφαλής είναι η ανάλυση των συνολικών μέσων τιμών από όλους τους σταθμούς, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται ο όποιος «θόρυβος» των μετρήσεων.

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι μακροχρόνιες μεταβολές των μέσων ετησίων συγκεντρώσεων του όζοντος από όλους τους σταθμούς του λεκανοπεδίου (Σχήμα 2) και μόνο των προαστίων (Σχήμα 3).



Σχήμα 2. Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων από όλους τους μετρητικούς σταθμούς του ΥΠΕΧΩΔΕ στο λεκανοπέδιο της Αθήνας.



Σχήμα 3. Διαχρονική μεταβολή των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων από όλους τους μετρητικούς σταθμούς του ΥΠΕΧΩΔΕ στα προάστια του λεκανοπεδίου της Αθήνας.

Όπως φαίνεται από τα σχήματα 2 και 3 υπάρχει σαφής αυξητική τάση του όζοντος στην Αθήνα είτε αυτή εξετάζεται σαν χωρικό σύνολο είτε αναλυθούν οι μετρήσεις των σταθμών εκτός αστικών κέντρων.

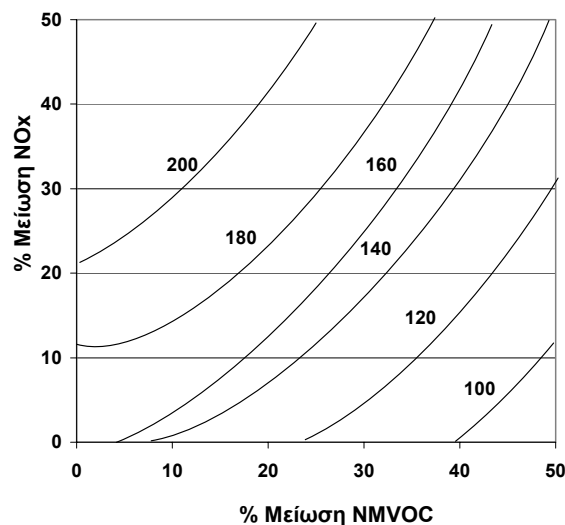
Σχεδιασμός μέτρων για τη μείωση του όζοντος

Τα μέτρα που μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση του όζοντος δεν μπορούν να σχεδιασθούν και να αξιολογηθούν μόνο με την εμπειρία και χωρίς την εφαρμογή κατάλληλης μεθοδολογίας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι το όζον είναι δευτερογενής ρύπος και η συγκέντρωσή του σε μία περιοχή δεν είναι γραμμική συνάρτηση των εκπεμπόμενων ρύπων από κάποιες συγκεκριμένες πηγές. Έτσι λοιπόν, όπως έχει δείξει και η διεθνής εμπειρία, είναι δυνατόν μέτρα που στοχεύουν στη μείωση κάποιων άλλων ρύπων (π.χ. τα οξειδία του αζώτου) να πετύχουν μεν το στόχο τους αλλά παράλληλα να οδηγήσουν σε αύξηση του όζοντος.

Γενικά τα μέτρα για τη μείωση του όζοντος χαρακτηρίζονται από προσπάθειες μείωσης των εκπομπών οξειδίων του αζώτου και των αρωματικών υδρογονανθράκων. Το ποσοστό μείωσης όμως του κάθε ρύπου πρέπει να υπακούει σε συγκεκριμένες αναλογίες, που διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Σε περίπτωση που δεν ακολουθούνται οι αναλογίες αυτές είναι δυνατό είτε η απόδοση των μέτρων να είναι μικρότερη ή ακόμα χειρότερα να οδηγηθούμε σε αύξηση του όζοντος. Για να βρεθούν οι αναλογίες αυτές πρέπει να εφαρμοστεί πολλές φορές (ελάχιστος αριθμός 35 εφαρμογές) φωτοχημικό μοντέλο διασποράς που τεκμηριωμένα αναπαριστά τη χωρική κατανομή και τη χρονική μεταβολή του όζοντος στην υπό μελέτη περιοχή. Η κάθε εφαρμογή του μοντέλου γίνεται για συγκεκριμένη μεταβολή των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου και των αρωματικών υδρογονανθράκων (4).

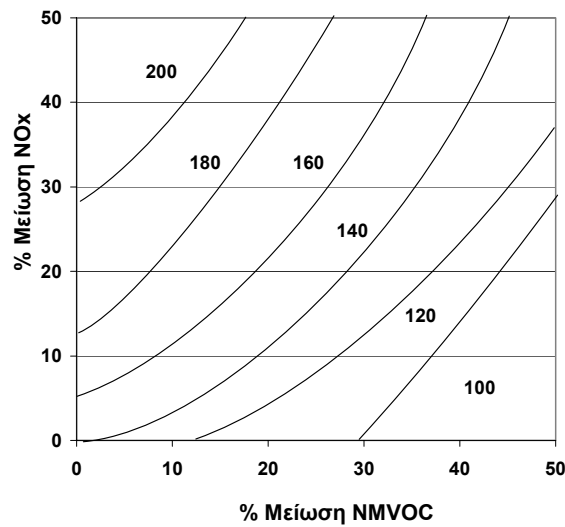
Στα σχήματα 4 και 5 παρουσιάζονται διαγράμματα που επιτρέπουν την πρόγνωση της μεταβολής του όζοντος ανάλογα με την αναλογία της μείωσης των οξειδίων του αζώτου και των αρωματικών υδρογονανθράκων για δύο περιοχές της Αθήνας* (Λυκόβρυση και Νέα Σμύρνη αντίστοιχα).

Όπως φαίνεται από τα σχήματα αυτά σε επιτυχή μείωση του όζοντος θα οδηγούσαν όποια μέτρα θα ακολουθούσαν αναλογίες μείωσης των πρόδρομων ρύπων που θα βρίσκονταν δεξιά της καμπύλης συγκέντρωσης του όζοντος των $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Σχήμα 4. Καμπύλες μεταβολής του όζοντος στην περιοχή της Λυκόβρυσης, για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς μείωσης των οξειδίων του αζώτου και των αρωματικών υδρογονανθράκων στην Αθήνα.

* Τα διαγράμματα προέκυψαν από την εφαρμογή του φωτοχημικού μοντέλου διασποράς UAM V 35 φορές.



Σχήμα 5. Καμπύλες μεταβολής του όζοντος στην περιοχή της Νέας Σμύρνης, για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς μείωσης των οξειδίων του αζώτου και των αρωματικών υδρογονανθράκων στην Αθήνα.

ΕΤΟΣ	NMVOC		NOX	
	2005	2010	2005	2010
ΙΧ	21794	16527	12584	11000
TAXI	435	163	1519	1029
Ελαφρά Φορτηγά	8442	6019	5626	4375
Βαριά Φορτηγά	5160	3983	16586	12602
Τουριστικά Λεωφορεία	122	80	1034	686
Αστικά Λεωφορεία	783	488	4502	2768
Δίκυκλα	18470	14089	393	423
Σύνολο	55206	41348	42244	32883
Μεταβολή (2005-2010)		-25%		-22%

Πίνακας 1: Εκπομπές αερίων ρύπων (tn/y) από τις διάφορες κατηγορίες οχημάτων, για τα έτη 2005 και 2010 εφόσον δεν ληφθούν μέτρα που θα επηρεάσουν την αγορά του αυτοκινήτου.

Παρόμοια σχήματα βεβαίως με τα σχήματα 4 και 5 μπορούν να κατασκευαστούν για όλες τις περιοχές της Αθήνας και έτσι να καταστεί εφικτή η εκτίμηση της απόδοσης των διαφόρων μέτρων αντιρύπανσης μεμονωμένα ή οποιουδήποτε συνδυασμού μέτρων.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι συνολικές ετήσιες εκπομπές ρύπων στην Αθήνα, από τα πάσης φύσεως οχήματα, για τα έτη 2005 και 2010. Οι παρατηρούμενες μειώσεις των εκπομπών, θα

μπορούσαν να οδηγήσουν στο εσφαλμένο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να αναμένουμε σημαντική μείωση των επιπέδων του όζοντος. Προσεκτική εξέταση όμως των αναμενόμενων μειώσεων με τη βοήθεια των διαγραμμάτων 4 και 5 δείχνει ξεκάθαρα ότι πράγματι θα υπάρξει μικρή μείωση, όμως τα επίπεδα του όζοντος θα είναι ακόμα υψηλότερα από την οριακή συγκέντρωση των 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και κατά συνέπεια θα πρέπει να σχεδιασθούν και να εφαρμοστούν επιπλέον μέτρα.

Συμπεράσματα

- ✓ Τα επίπεδα των συγκεντρώσεων υποβάθρου του όζοντος στα νοτιοανατολικά Βαλκάνια είναι υψηλά (60-120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) και συνεπώς η επίτευξη των ορίων ποιότητας της ατμόσφαιρας που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση καθίσταται δύσκολη.
- ✓ Τα μέσα επίπεδα του όζοντος στην Αθήνα κατά την περασμένη δεκαετία έχουν σαφώς ανοδική τάση, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια.
- ✓ Ο σχεδιασμός μέτρων μείωσης των επιπέδων του όζοντος πρέπει να λαμβάνει σαφώς υπόψη του τις απαιτούμενες αναλογίες μείωσης των οξειδίων του αζώτου και των αρωματικών υδρογονανθράκων. Οι αναλογίες αυτές δεν είναι ίδιες για κάθε περιοχή μιας πόλης σαν την Αθήνα και πρέπει να μελετώνται ξεχωριστά με τη χρήση φωτοχημικών μοντέλων διασποράς.

Βιβλιογραφία

1. Ziomas I.C., (1998), “Mediterranean Campaign of Photochemical Tracers-Transport and Chemical Evolution (MEDCAPHOT-TRACE): An outline”, **Atm. Envir.**, 32, 12, 2045-2059.
2. Klemm O. and I. C. Ziomas, (1998), “Urban emissions measured with aircraft”, **Journal of Air and Waste Management Association**, 48, pp 16-25.
3. P. Symeonidis, Ziomas I., Proyou A., (2003), “Emissions of air pollutants from the road transport sector in Greece: Year to year variation and present situation”, **Environ. Technol.**, 24,719-726.
4. Ziomas I. C., P. Tzoumaka, D. Balis, D. Melas and C. Zerefos, (1998), “Ozone Episodes In Athens, Greece. A modelling approach using data from the MEDCAPHOT-TRACE”, **Atm. Envir.**, 32, 12, 2313-2322.