



Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Ενότητα 2: Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

Μουσιόπουλος Νικόλαος
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

«Κυριότερος τρόπος έκθεσης του ανθρώπου σε επικίνδυνες ουσίες: η αναπνοή (15m³/ημέρα)»



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Θειούχες ενώσεις.
2. Μονοξείδιο του άνθρακα.
3. Αζωτούχες ενώσεις.
4. Υδρογονάνθρακες.
5. Αιωρούμενα σωματίδια.
6. Φωτοχημική αιθαλομίχλη.



Σκοποί ενότητας

- Δυνατότητες ταξινόμησης των ατμοσφαιρικών ρύπων.
- Πηγές, συγκεντρώσεις και μηχανισμοί απομάκρυνσης ατμοσφαιρικών ρύπων.



Ταξινόμηση Ατμοσφαιρικών Ρύπων

- **Χημική σύσταση:**
 - Θειούχες, αζωτούχες, ανθρακούχες, αλογονούχες, ραδιενεργές (Chernobyl).
- **Φυσική κατάσταση:**
 - Στερεά, υγρά, αέρια.
- **Τρόπος εκπομπής:**
 - Πρωτογενείς, δευτερογενείς.
- **Τοξικότητα.**



Υπολογισμός Ποσότητας στην Ατμόσφαιρα

- Συγκέντρωση: Μάζα ανά μονάδα όγκου.
- Αναλογία μίγματος: ppm , ppb , $ppbC$.

$$c / ppb = \frac{83.14 \times T / K}{p / mbar \times M} \times c' / \left[\mu g / m^3 \right]$$



Κύκλος Ρύπων

- Ιδιαιτερότητες εκπομπής (σχέση φυσικών προς ανθρωπογενείς πηγές).
- Φυσικοχημικά φαινόμενα.
- Χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα.
- Λόγος M_g προς M_s .

$M_g < M_s$ αέριο σε ισορροπία (μεγαλύτερη εναπόθεση).

$M_g > M_s$ αέριο σε συσσώρευση (στην ατμόσφαιρα).



Ποιότητα αέρα - Νομοθεσία

- Παλαιά και νέα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να προσαρμοσθούν στη νέα νομοθεσία που θέτει αυστηρές οριακές τιμές συγκεντρώσεων ρύπων προς **προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος**.
- Η Ευρωπαϊκή νομοθεσία ακολουθεί τις **οριακές τιμές** που προτείνονται από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (Π.Ο.Υ.) και απαιτεί από τα κράτη-μέλη να λάβουν μέτρα ώστε να επιτευχθεί **σταδιακή βελτίωση της ποιότητας αέρα**, με στόχο τη συμμόρφωση με τις οριακές τιμές.



Οριακές τιμές και επιτρεπόμενες υπερβάσεις ρύπων

Ρύπος	Οριακή τιμή ή τιμή στόχος	Επιτρεπόμενες υπερβάσεις ανά έτος	Περίοδος αναφοράς
NO ₂	200 μg/m ³	18	1 ώρα
	40 μg/m ³	N/A	1 έτος
SO ₂	350 μg/m ³	24	1 ώρα
	125 μg/m ³	3	1 ημέρα
PM ₁₀	50 μg/m ³	35	1 ημέρα
	40 μg/m ³	N/A	1 έτος
PM _{2,5}	25 μg/m ³	N/A	1 έτος
O ₃	120 μg/m ³	25 ανά έτος κατά μέσο όρο σε 3 χρόνια	Μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος 8 ωρών
CO	10 mg/m ³	N/A	Μέγιστος ημερήσιος μέσος όρος 8 ωρών
C ₈ H ₈	5 μg/m ³	N/A	1 έτος
As	6 ng/m ³	N/A	1 έτος
Pb	0,5 μg/m ³	N/A	1 έτος

Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurx,03/07/2015>.



Θεσμοθετημένοι ρύποι

- SO_2
- NO_2
- CO
- O_3
- Υδρογονάνθρακες – οργανικές ενώσεις
- Αιωρούμενα σωματίδια

Πηγές
Απομάκρυνση
Τοξικότητα
Περιορισμός



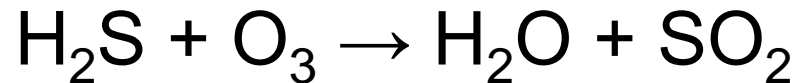
Θειούχες ενώσεις

- Καρβονυλικό σουλφίδιο (COS), δισουλφίδιο του άνθρακα (CS_2), διμεθυλικό σουλφίδιο ($(\text{CH}_3)_2\text{S}$), υδρόθειο (H_2S), διοξείδιο του θείου (SO_2), θειικά άλατα.
- Πηγές: βιολογική αποσύνθεση, χρήση καυσίμων που περιέχουν θειάφι.



Διοξείδιο του θείου

- Άχρωμο αέριο με έντονη οσμή και υψηλή τοξικότητα
- Στην φύση παράγεται κατά κανόνα από την οξείδωση του υδρόθειου



Φυσικές

- Ωκεανοί: μεγάλες ποσότητες οργανικών θειούχων ενώσεων, θειικών αλάτων και υδρόθειου.
- Ηφαίστεια (μικρή συνεισφορά).

Ανθρωπογενείς

- Καύση ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο – πετρέλαιο).
- Βιομηχανίες παραγωγής μετάλλων από θειούχα ορυκτά.



Κύριες καταβόθρες του διοξειδίου του θείου

- Η καταλυτική ή φωτοχημική ($\lambda \sim 300-400$ nm) οξείδωση σε SO_3 , που στη συνέχεια οδηγεί σε θειικό οξύ:
$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$
αρχικά σε μορφή μικρών σταγονιδίων.
- Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν κατά 10-20% χαρακτήρα θειικό.
- Υγρή ή ξηρή εναπόθεσή θειικών αλάτων με επακόλουθο τη διήθηση σε φυτά.



Χρόνος παραμονής θειούχων ενώσεων στην ατμόσφαιρα

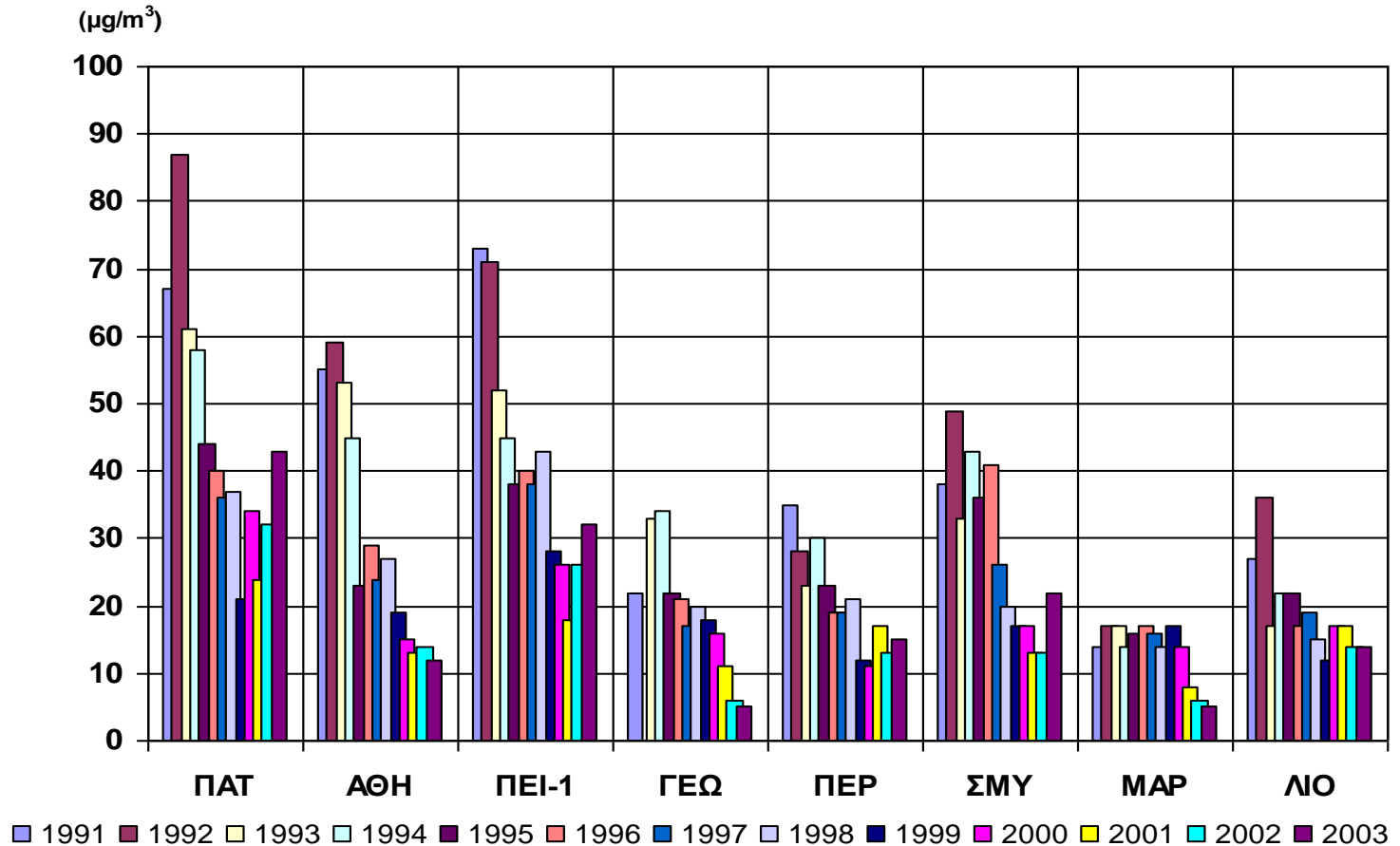
- $\text{H}_2\text{S} < 1 \text{ d}$
- $\text{SO}_2 < 3 \text{ d}$
- $\text{SO}_4^{2-} \sim 7 \text{ d}$
- όξινες εναποθέσεις ακόμα και σε απόσταση χιλιάδων χιλιομέτρων από τις πηγές της ρύπανσης.

Τοξικότητα

- Σε υψηλές συγκεντρώσεις (>20 ppm):
 - ακόμα και πνευμονικό οίδημα (τροποποίηση αμυντικού μηχανισμού πνευμόνων).
- Σε χαμηλές συγκεντρώσεις (0,1-0,7 ppm) και μακροχρόνια έκθεση:
 - αναπνευστικά προβλήματα
- Δηλητηριάσεις φυτών λόγω μακροχρόνιας έκθεσης.



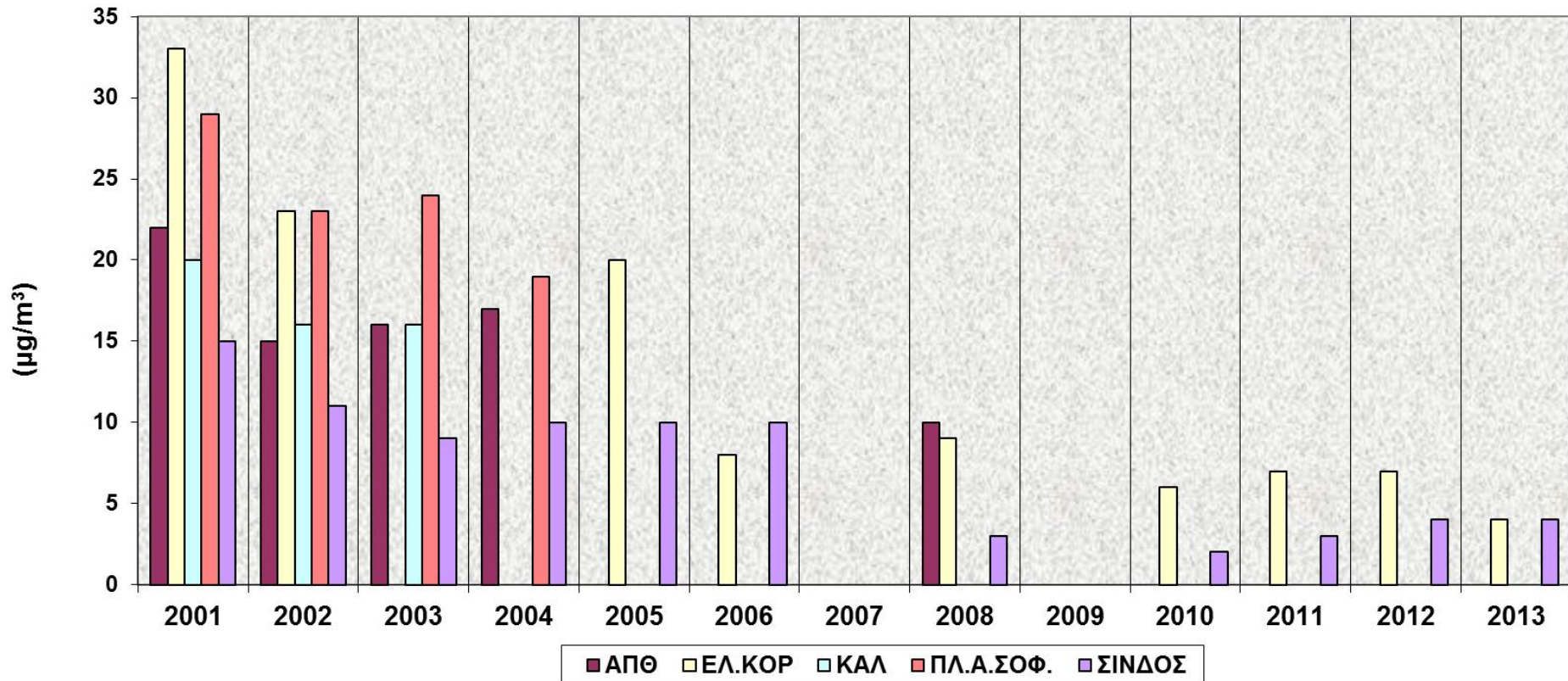
SO₂ σε σταθμούς της Αθήνας, διαχρονική εξέλιξη 1991-2003



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayux>,
03/07/2015.



SO₂ σε σταθμούς της Θεσσαλονίκης, διαχρονική εξέλιξη 2001-2013



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0aγυρx,03/07/2015>.



Pinatubo volcano



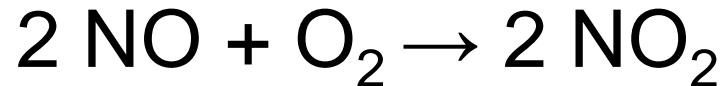
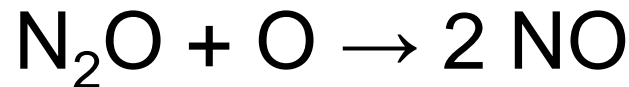
*...Η έκρηξη το 1991 εκτόξευσε στη
στρατόσφαιρα δέκα εκ. τόνους
διοξείδιο του θείου. Παρατηρήθηκε
μείωση της μέσης θερμοκρασία του
πλανήτη κατά 0,5°C...*

Πηγή: <http://park.org/Philippines/pinatubo/>, 03/07/2015.



Αζωτούχες ενώσεις

- Αμμωνία (NH_3), οξειδία N_2O , NO και NO_2 (NO_x)



- Άχρωμο και άοσμο NO > καύση σε υψηλές θερμοκρασίες.
- NO οξειδώνεται σε NO_2 , τοξικό αέριο ερυθρού χρώματος και έντονης οσμής.



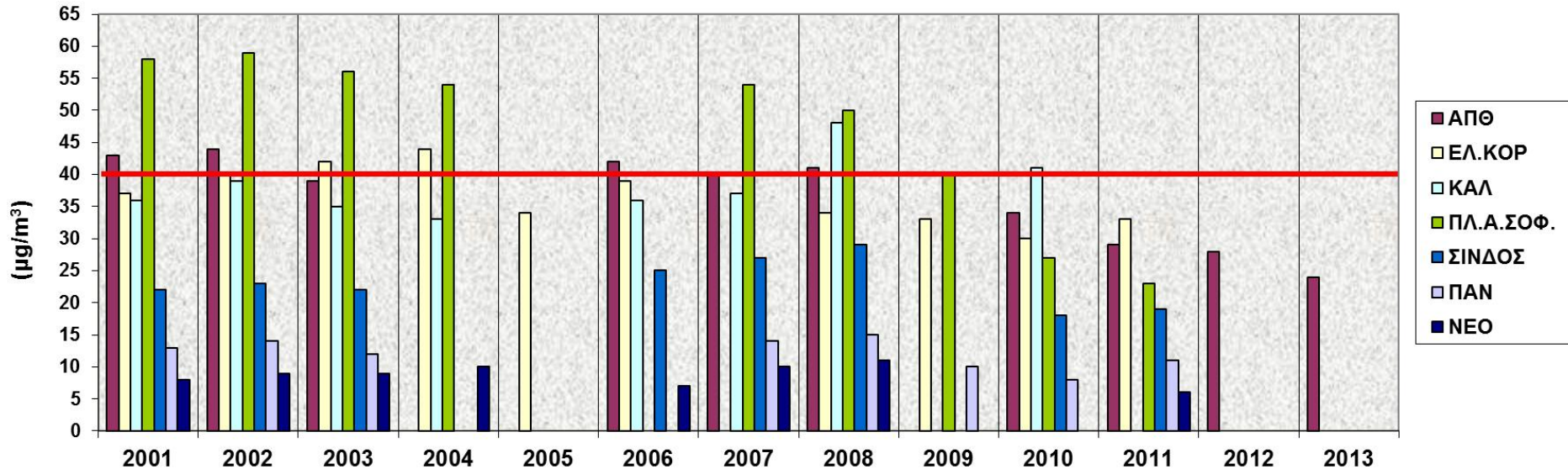
Πηγές Ενώσεων του Αζώτου

Ένωση	Πηγή	εκατ. τόνοι/έτος
NO _x	Καύση άνθρακα	26,94
	Διυλιστήρια	0,7
	Καύση πετρελαίου	7,5
	Καύση μαζούτ	14,1
	Καύση φυσικού αερίου	2,1
	Άλλες καύσεις	1,6
	Σύνολο	52,9
NO	Βιολογικές δράσεις	501
N ₂ O	Βιολογικές δράσεις	529
NH ₃	Βιολογικές δράσεις	1160
NH ₃	Καύσεις	4

Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayupx,03/07/2015>.



NO₂ στη Θεσσαλονίκη, διαχρονική εξέλιξη 2001-2013



2001-2008: μικρή τάση μείωσης των συγκεντρώσεων, υπέρβαση του ορίου μέσης ετήσιας τιμής των 40 µg/m³, κυρίως στους αστικούς σταθμούς.

Λόγω οικονομικής κρίσης, από το 2009 παρατηρήθηκαν τάσεις μείωσης, κυρίως στους σταθμούς στο κέντρο της πόλης.

Η μείωση αυτή μπορεί να οφείλεται εν μέρει σε εκτιμώμενες μειώσεις της κυκλοφορίας των ΙΧ και των TAXI της τάξης του 15% στο κέντρο της πόλης, στο διάστημα μεταξύ 2009 και πρώτο εξάμηνο του 2011.

Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayupx>, 03/07/2015.

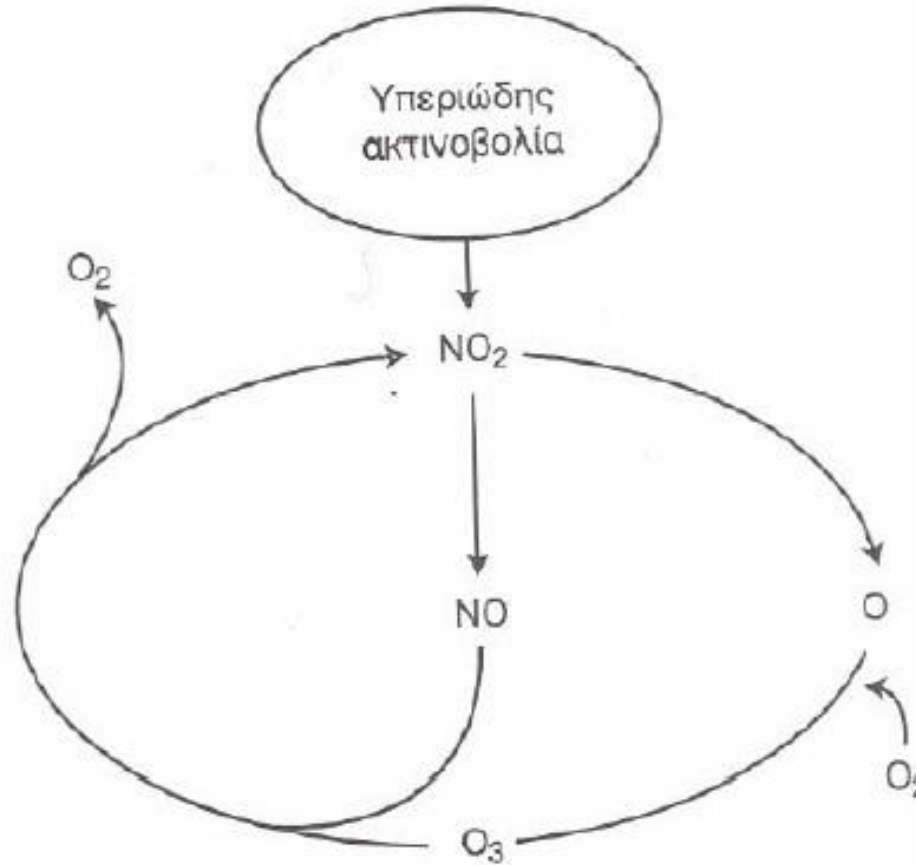


Κύριες καταβόθρες των NO_x

- Ο σχηματισμός νιτρικού οξέος και νιτρικών αλάτων που υπόκεινται σε υγρή ή ξηρή εναπόθεση.
- Χημικές αντιδράσεις (φωτολυτικός κύκλος οξειδίων του αζώτου) που οδηγούν σε δευτερογενείς ρύπους (φωτοχημική αιθαλομίχλη).



Φωτολυτικός κύκλος οξειδίων αζώτου



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayux>, 03/07/2015.



Τοξικότητα NOx

- NO: παράλυση νευρικού συστήματος πειραματόζων.
- NO₂: αντίδραση με υδρατμούς βρόχων και ερεθισμό των πνευμόνων:
 - > 150 ppm θανατηφόρο.
 - > 200 ppb αισθητό στην όσφρηση.

Χρήση καταλύτη σε αυτοκίνητα.
Μείωση βιομηχανικών εκπομπών.

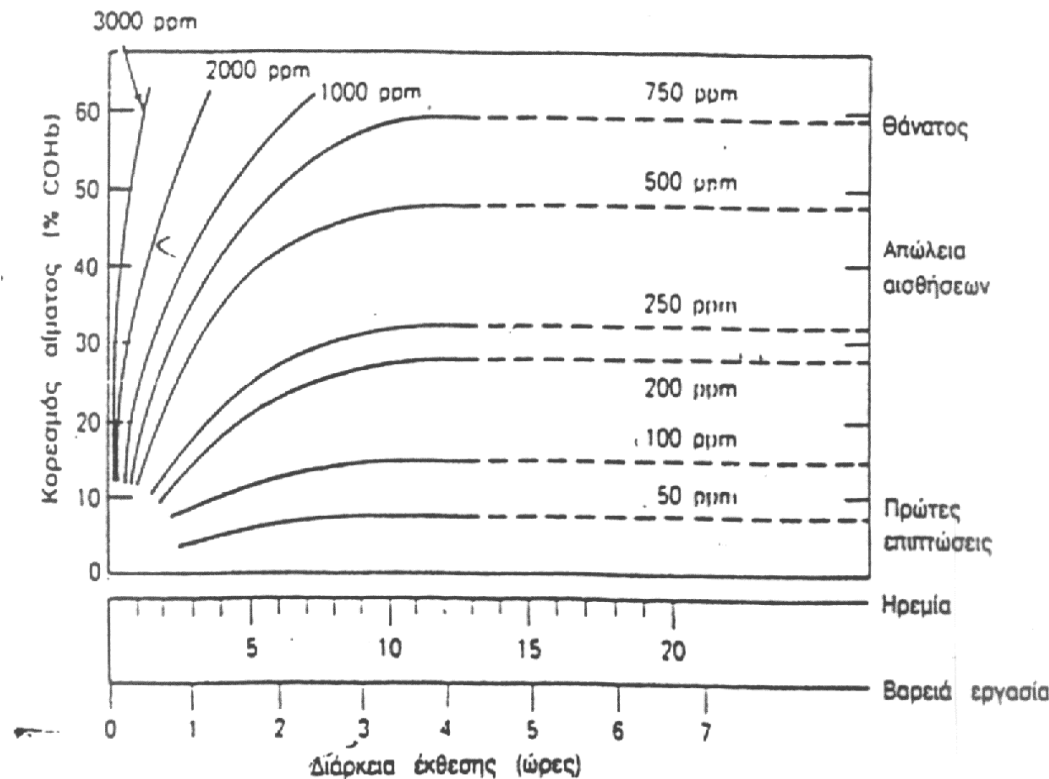


Μονοξείδιο του άνθρακα

- Εκλύεται κατά την ατελή καύση.
- Κυρίως βενζινοκίνητα επιβατικά (90%) και βιομηχανικές εφαρμογές, εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας – θέρμανσης.
- Ανθρωπογενείς εκπομπές: μια τάξη μεγέθους χαμηλότερες από τις φυσικές (φυσικά αέρια, ηφαίστεια, ηλεκτρικές εκκενώσεις καταιγίδων, βιολογικές διαδικασίες).
- Χαμηλή αντιδραστικότητα > μεγάλο χρόνο παραμονής (της τάξης του ενός μήνα).
- Το μονοξείδιο του άνθρακα απορροφάται στο αίμα, όπου δεσμεύει την αιμοσφαιρίνη μετατρέποντάς την σε καρβοξυαιμοσφαιρίνη.



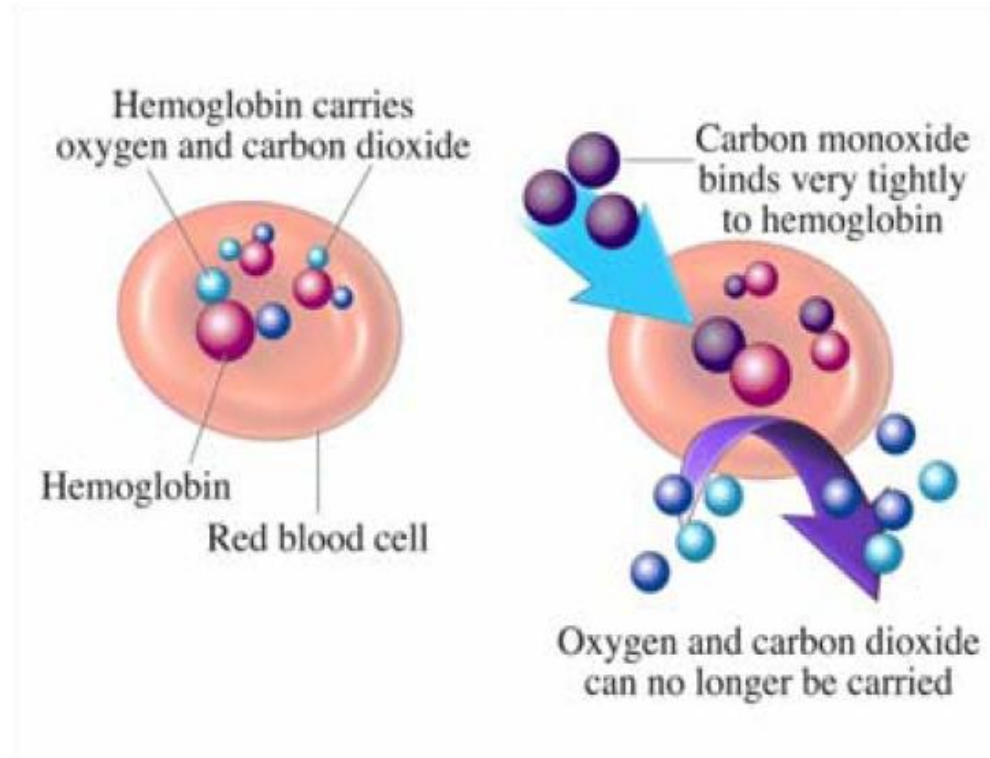
Κορεσμός αίματος και διάρκεια έκθεσης



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurpx,03/07/2015>.



Τοξικότητα CO



> 100 ppm θανατηφόρο Υψηλές τιμές στον καπνό του τσιγάρου

Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurx>, 03/07/2015.



Υδρογονάνθρακες

- Μεθάνιο (CH_4) > αναερόβια βακτηριακή αποσύνθεση.
- Τερπένια > παράγωγα της βιολογικής δραστηριότητας διαφόρων φυτών.
- Πηγές: Ατελείς καύσεις (μηχανές εσωτερικής καύσης), διαφυγές κατά τη διάρκεια διεργασιών (διυλιστήρια) ή σε συνδυασμό με τη χρήση διαλυτών.



Χαρακτηριστικά

- Υψηλή τοξικότητα (π.χ. βενζόλιο).
- Σχηματισμός φωτοχημικής αιθαλομίχλης
- Κάθε υδρογονάνθρακας χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη αντιδραστικότητα η σύσταση των εκπομπών υδρογονανθράκων καθορίζει τη συμμετοχή τους στο σχηματισμό δευτερογενών ρύπων.



Αιωρούμενα σωματίδια (1/2)

- Κύριο κριτήριο ταξινόμησης το μέγεθος.
- Καθοριστικό για: διείσδυση και απόθεση στο αναπνευστικό, χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα και δυνατότητα μεταφοράς.
- 3 κλάσματα: TSP, AS_{10} , $AS_{2.5}$.
- Χημική σύσταση, τοξικότητα, προέλευση, αν εκπέμπονται άμεσα ή παράγονται στην ατμόσφαιρα στα πλαίσια φυσικοχημικών αντιδράσεων.



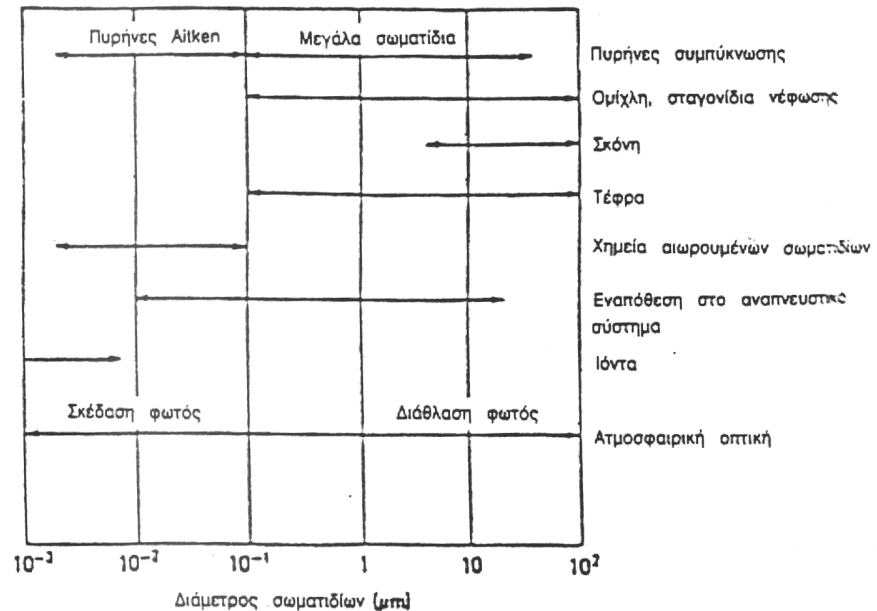
Αιωρούμενα σωματίδια (2/2)

- Βιοδιαθεσιμότητα: πόσο ευδιάλυτα είναι.
- Στη φύση: πυρκαγιές και κατά τη διάρκεια εκρήξεων ηφαιστειών.
- Ανθρωπογενής πηγή: καύση πετρελαίου, τόσο οικιακή, όσο και στη βιομηχανία (ιπτάμενη τέφρα από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, βιομηχανικές μεταλλουργικές δραστηριότητες) και σε πετρελαιοκινητήρες (σωματίδια διαμέτρου κάτω των 10 μm , καπνός). Οικοδομική δραστηριότητα, επαναιώρηση σκόνης δρόμου.



Ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρος

Η διάμετρος μιας σφαίρας με πυκνότητα ίση με τη μονάδα που έχει την ίδια ταχύτητα πτώσης στον αέρα με το εν λόγω σωματίδιο (μη σφαιρικό με πυκνότητα διαφορετική από 1 g cm^{-3}).

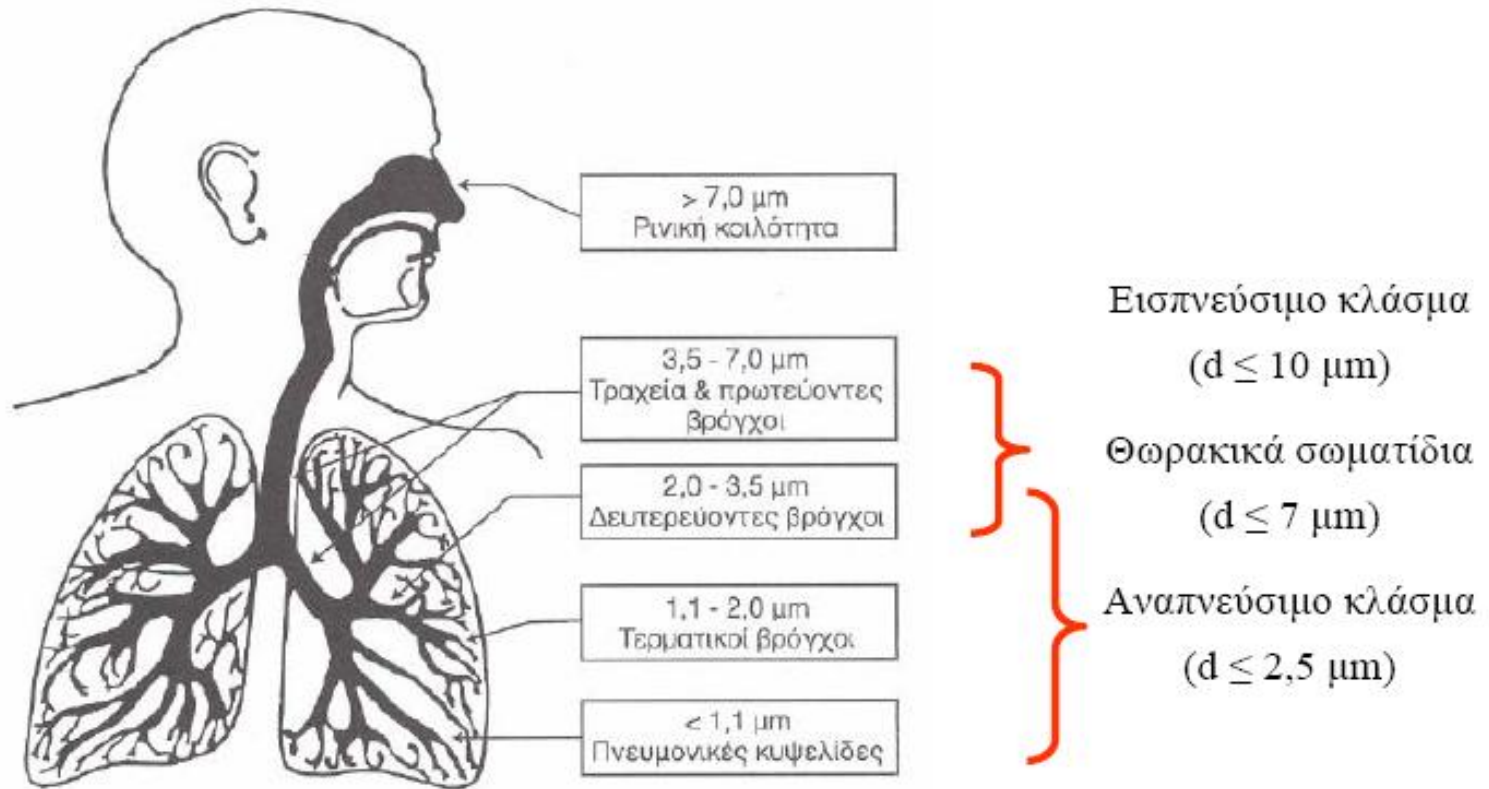


Πηγή:

<http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0aγυρχ,03/07/2015>.



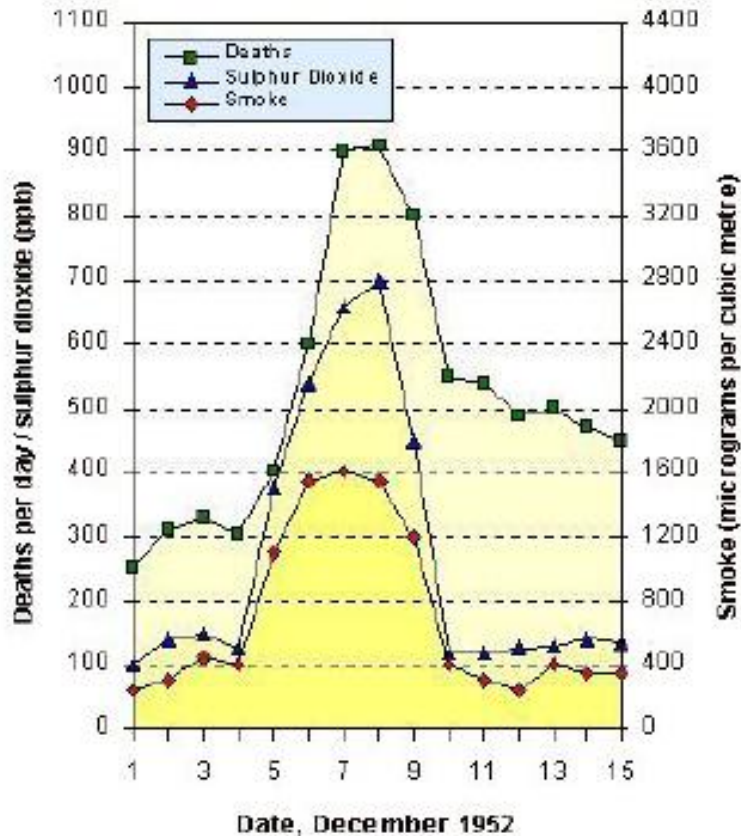
Διείσδυση αιωρούμενων σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurpx,03/07/2015>.



Νέφος καπνομίχλης



Λονδίνο 1952: θερμοκρασιακή αναστροφή 5 ημερών προκαλεί το θάνατο περίπου 4.000 ατόμων.

Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayuyx,03/07/2015>.

<https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/236x/23/d7/2c/23d72ca30ca77b8a75ff7a1f24d720ed.jpg>

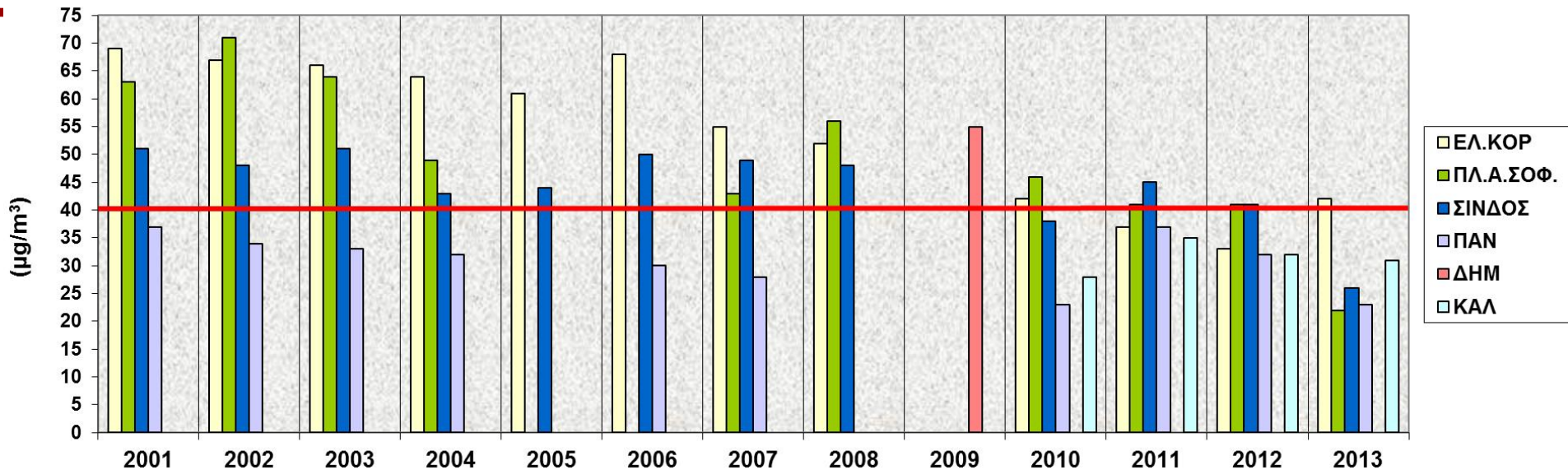


Σημασία των ΑΣ

Κατά τη διασπορά τους στην ατμόσφαιρα τα σωματίδια συμμετέχουν σε διάφορες φυσικοχημικές αντιδράσεις, από τις οποίες συχνά προκύπτει η συνένωση μικρών σωματιδίων σε μεγαλύτερα, που τελικά απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα με υγρή ή ξηρή εναπόθεση.



ΑΣ₁₀ στη Θεσσαλονίκη, εξέλιξη 2001-2013

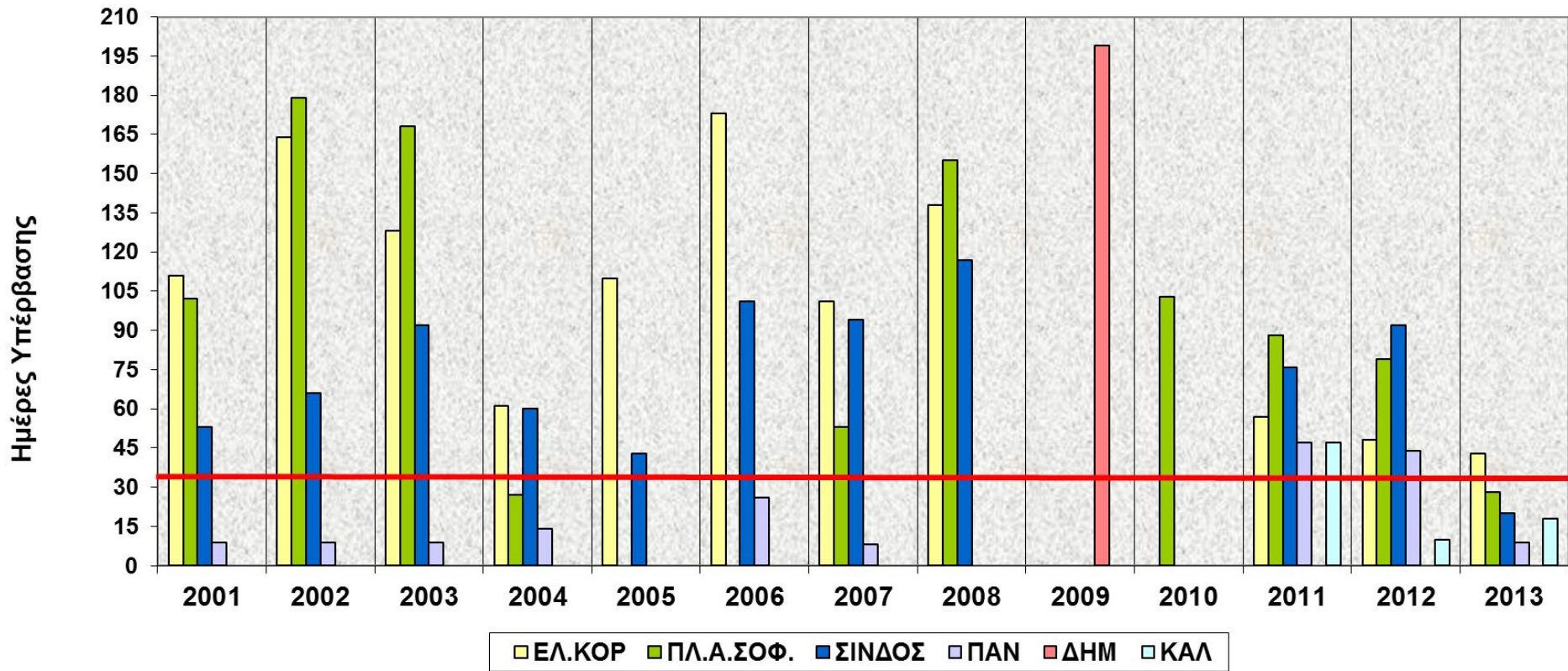


- 2001-2011: τάση σταθεροποίησης σε επίπεδα πάνω από το όριο της ΕΕ, κυρίως στους αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας (Πλ.Αγ.Σοφίας) και βιομηχανικούς (Σίνδος).
- Από το 2009 - 2013 παρατηρήθηκαν τάσεις μείωσης, κυρίως στο κέντρο της πόλης.
- Η μείωση αυτή μπορεί να οφείλεται εν μέρει σε εκτιμώμενες μειώσεις της κυκλοφορίας των ΙΧ και των TAXI της τάξης του 15% στο κέντρο της πόλης.
- Ωστόσο το 2011 παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεων των ΑΣ₁₀ σε συγκεκριμένους σταθμούς (Πανόραμα, Καλαμαριά). Η επιβάρυνση αυτή μπορεί να οφείλεται εν μέρει στη στροφή των κατοίκων στην καύση ξύλων για θέρμανση.

Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurx,03/07/2015>.



ΑΣ₁₀ στη Θεσσαλονίκη, ημέρες υπέρβασης (2001-2013)



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurpx,03/07/2015>.



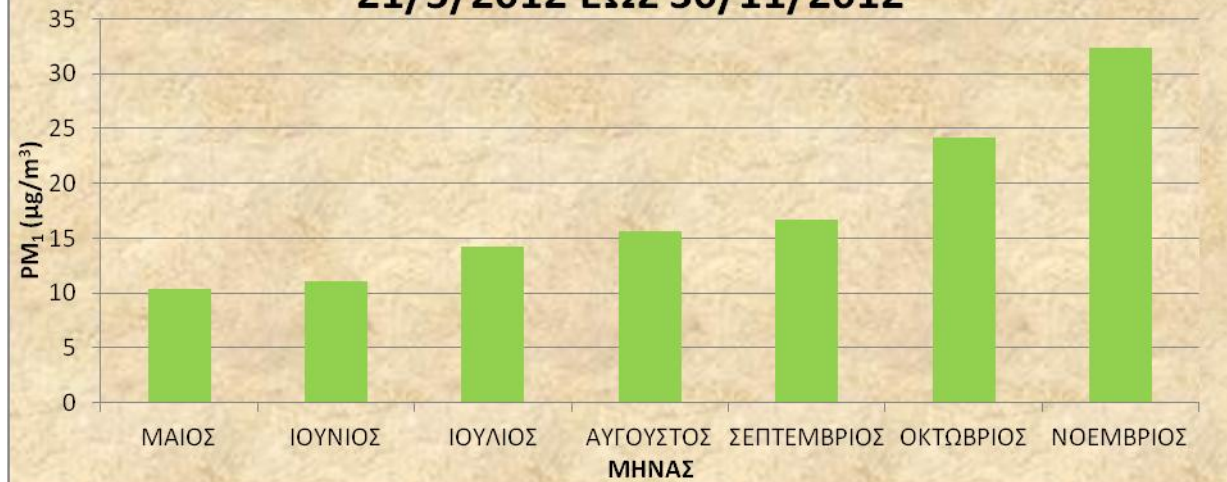
Στοιχεία από μετρήσεις

- Παρατηρείται μια ελαφρά τάση μείωσης των μέσων ετήσιων συγκεντρώσεων αλλά και των ημερών υπέρβασης, όμως οι υπερβάσεις των νομοθετημένων ορίων εξακολουθούν να είναι ιδιαίτερα υψηλές.
- Οι μέγιστες συγκεντρώσεις παρατηρούνται σε αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας (Αγ. Σοφίας και Βενιζέλου), δευτερευόντως στους αστικούς σταθμούς υποβάθρου (σταθμός Επταπυργίου), ενώ οι τιμές είναι γενικά χαμηλότερες στους περιαστικούς σταθμούς.



Αιθαλομίχλη στην Ελλάδα της κρίσης

21/5/2012 ΕΩΣ 30/11/2012

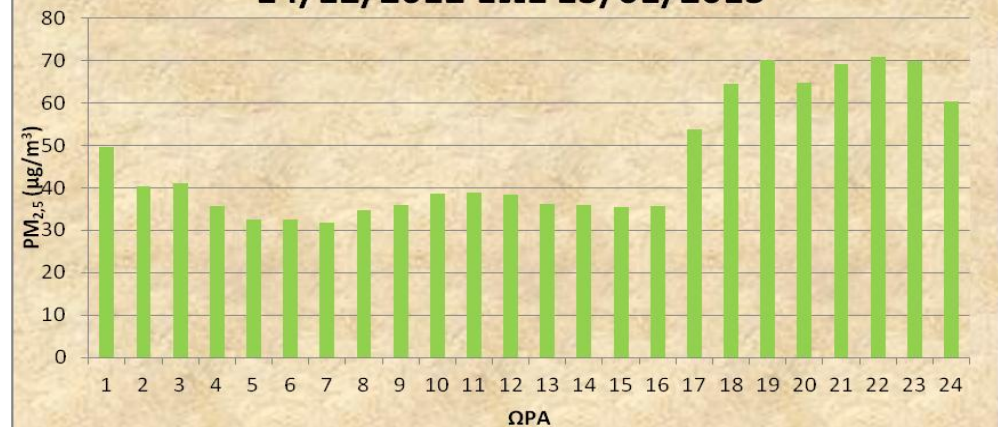


Πηγή:

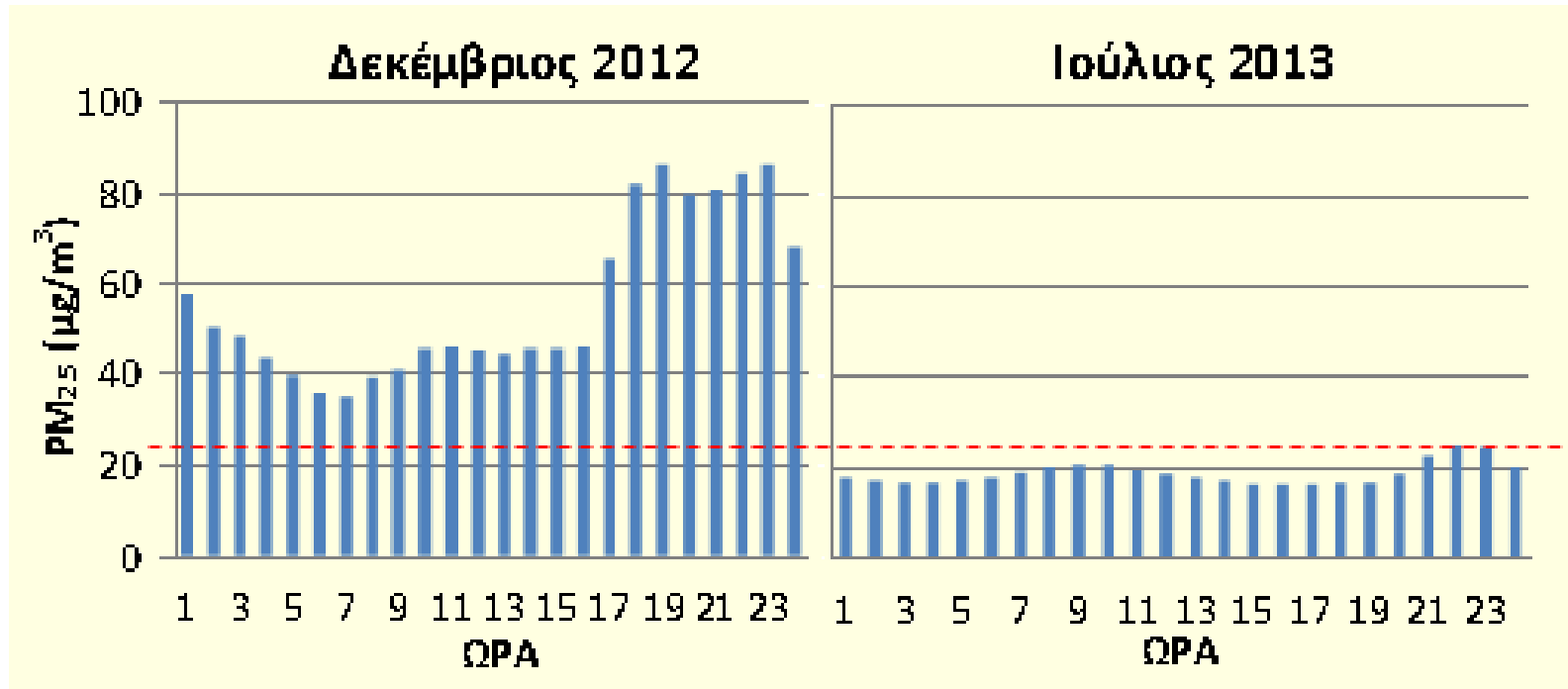
<http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0aayux>, 03/07/2015.

Το οικονομικό κόστος από την επιβάρυνση της δημόσιας υγείας λόγω των τζακιών αυξήθηκε το 2012 σε σχέση με το 2011 κατά 40 εκ. ευρώ για τη μητροπολιτική περιοχή της Θεσσαλονίκης

14/12/2012 ΕΩΣ 13/01/2013



Μετρήσεις αστικού υποβάθρου – Μέση ημερήσια διακύμανση



- Σημαντική αύξηση (πάνω από 3 φορές) στις συγκεντρώσεις PM_{2.5} κατά τη διάρκεια του ψυχρότερου μήνα.
- Ισχυρό μέγιστο κατά τις απογευματινές και βραδινές ώρες.

Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurx,03/07/2015>.

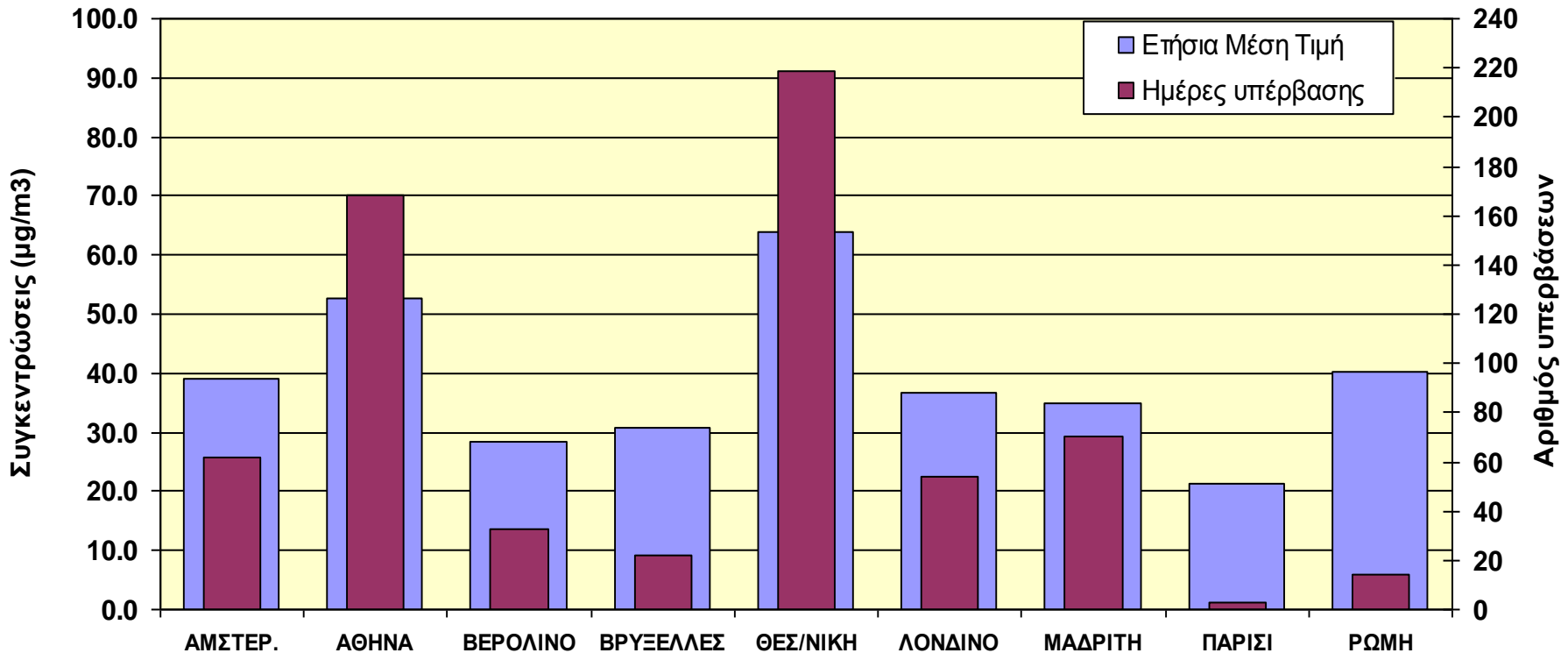


Θεσσαλονίκη - Αιωρούμενα σωματίδια (1/2)

- Ανήκει στις πιο ρυπασμένες πόλεις στην Ευρώπη από ΑΣ.
- Τις μισές μέρες του χρόνου έχουμε υπέρβαση του ορίου της ΕΕ.
- 1000 πρόωροι θάνατοι κάθε χρόνο σε ευπαθείς ομάδες πληθυσμού.
- Το πρόβλημα είναι γενικό στην Ελλάδα.
- Αιτίες: κλίμα, αερομεταφερόμενα από Σαχάρα, θάλασσα, νοθεία καυσίμων, κυκλοφορία, εργοταξιακή σκόνη.



Ετήσια μέσα επίπεδα ΑΣ₁₀ και αριθμός ημερών υπέρβασης (2005)



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayuyx,03/07/2015>.



Κύριες πηγές σωματιδίων στη Θεσσαλονίκη

- Οι πηγές που ταυτοποιήθηκαν ως ευθυνόμενες περιλαμβάνουν την κυκλοφορία των αυτοκινήτων, την καύση πετρελαίου (οικιακή ή βιομηχανική), την επαναιώρηση της σκόνης δρόμου, βιομηχανικές μεταλλουργικές δραστηριότητες και την παραγωγή τσιμέντου / οικοδομική δραστηριότητα.
- Παρά την απαγόρευση της χρήσης πετρελαιοκίνητων επιβατικών και ελαφρών φορτηγών στην Ελλάδα (μέχρι πρόσφατα!), μεγαλύτερη συμμετοχή στα εισπνεύσιμα σωματίδια έχει η κυκλοφορία με συνολική συμμετοχή 47% - 65% και ακολουθεί η καύση πετρελαίου (9% - 28%) και η σκόνη δρόμου (18% -22%).



Θεσσαλονίκη – αιωρούμενα σωματίδια (2/2)

- Βορειοδυτικοί άνεμοι – μεταφορά από βιομηχανίες.
- Νοτιοδυτικοί άνεμοι – από Καλοχώρι (χαλαρά, άγωνα, αλατούχα εδάφη χωρίς φυτοκάλυψη) και δεξαμενές πετρελαιοειδών, μικρές βιομηχανίες - βιοτεχνίες.
- Υγρασία (υδρατμοί ως πυρήνες συμπύκνωσης).
- Φράγμα υψηλών κτιρίων στην παραλία.
- Φορτοεκφόρτωση και μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων μεταλλευμάτων κ.ά. στο λιμάνι.



Εκπομπές ΑΣ₁₀ στη Θεσσαλονίκη

- Η πηγή με τη μέγιστη συνεισφορά είναι η οδική κυκλοφορία με ποσοστά της τάξης του 60%.
- Η συνεισφορά της πετρελαιοκίνησης είναι μεγαλύτερη από αυτήν της βενζινοκίνησης.
- Τα αποτελέσματα έδειξαν λίγο χαμηλότερη συνεισφορά των καταλυτικών σε σχέση με τα μη-καταλυτικά οχήματα.
- Υπάρχουν ενδείξεις δυσλειτουργίας των καταλυτών βενζινοκίνητων οχημάτων.
- Πηγή με σημαντική συνεισφορά (~20%) είναι και η σκόνη με προέλευση τους δρόμους, κυρίως λόγω επαναιώρησης.



Κυκλοφοριακό και ποιότητα αέρα

Η εξέλιξη της ποιότητας αέρα στη Θεσσαλονίκη ως το 2020 θα επηρεαστεί κυρίως από:

- παρεμβάσεις στο κυκλοφοριακό (διόδους / μεγάλα έργα),
- μεταβολές στα καύσιμα και
- εξελίξεις στην τεχνολογία κινητήρων.



Μέταλλα και Τοξικοί Ρύποι

- Μόλυβδος -> επεξεργασία μετάλλων, διαλυτές, παραγωγή μπαταριών.
- Μείωση εκπομπών από πετρελαιοκίνητα οχήματα λόγω αμόλυβδης.
- ΤΟΜΡs, κυρίως PCBs, PAHs, διοξίνες από αντιδράσεις ατελούς καύσης.



Βαρέα Μέταλλα – Ανθρωπογενείς δραστηριότητες

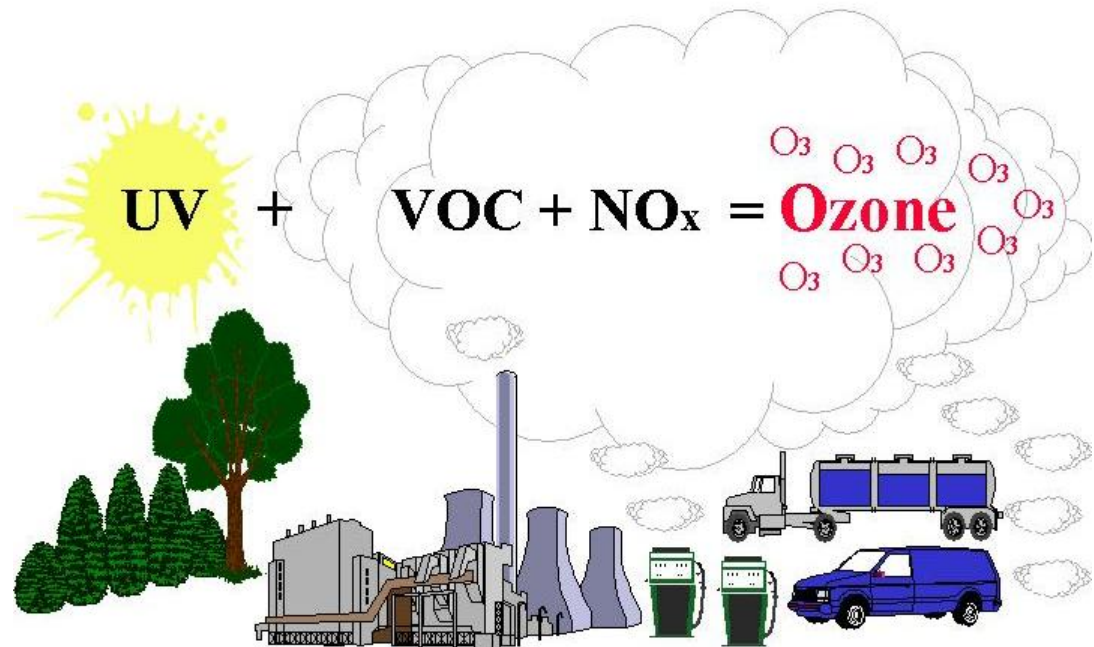
Μέταλλο ενδιαφέροντος	Βιομηχανική δραστηριότητα
Άρσενικό	Χρωστικές και χρώματα, εντομοκτόνα/ζιζανιοκτόνα, μεταλλουργική επεξεργασία μετάλλων, γυαλί και κεραμικά, βυρσοδεψία
Χρώμιο και ενώσεις του	Ανοδίωση, τσιμέντο, χρωστικές, χρώματα, επιμεταλλώσεις, βυρσοδεψία
Κοβάλτιο και ενώσεις του	Καταλύτες, ίνες, χρώματα, χαρτί και χαρτοπολτός
Χαλκός και ενώσεις του	Επιμεταλλώσεις, ηλεκτρικά/ηλεκτρονικά, επεξεργασία επιφανειών, εντομοκτόνα, απόσταξη άνθρακα, οξείδωση κυανιούχων, πλαστικά
Σίδηρος και ενώσεις του	Αλουμίνιο, επιμεταλλώσεις, χρωστικές, ηλεκτρονικά, διοξείδιο του τιτανίου
Μόλυβδος και ενώσεις του	Μπαταρίες, τυπογραφία, εξάτμιση αυτοκινήτων, εκρηκτικά, πυροτεχνήματα, εντομοκτόνα, χρώματα, διυλιστήρια, πετροχημικά
Μαγγάνιο και ενώσεις του	Καταλύτες, μπαταρίες, γυαλί, χρώματα, πυροτεχνήματα
Υόραργυρος: οργανικός	Βακτηριακή δραστηριότητα από ανόργανο, εντομοκτόνα
Υδράργυρος: ανόργανος	Ηλεκτρικά/ηλεκτρονικά, εντομοκτόνα, μπαταρίες, φωτογραφικά, επιστημονικά όργανα, χλωράλκαλι, χρώματα, φαρμακευτικά, χαρτί /χαρτοπολτός, καταλύτες, τσιμέντο, καύση άνθρακα/πετρελαίου
Κασσίτερος και ενώσεις	Επιμεταλλώσεις
Ψευδάργυρος και ενώσεις	Συνθετικές ίνες, επιμεταλλώσεις, χαρτί/χαρτοπολτός, επεξεργασία ελαστικού
Βηρύλλιο και ενώσεις του	Πυρηνική βιομηχανία, σιδηρούχα και μη κράματα αεροναυπηγικής
Νικέλιο και ενώσεις του	Επιμεταλλώσεις, συσσωρευτές, καταλύτες
Κάδμιο και ενώσεις του	Χρωστικές, χρώματα, επιμεταλλώσεις, πολυμερή

Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurpx,03/07/2015>.



Φωτοχημική Αιθαλομίχλη (1/2)

Η φωτοχημική αιθαλομίχλη σχηματίζεται σε αέριες μάζες που περιέχουν NO_x και υδρογονάνθρακες (VOC ή R) υπό την επίδραση ισχυρής UV.



Πηγή:
<http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MEN G352&openDir=/4ac62a0ayupx>,
03/07/2015.



Φωτοχημική Αιθαλομίχλη (2/2)

Οι δευτερογενείς ρύποι που συνιστούν τη φωτοχημική αιθαλομίχλη (κύριος εκπρόσωπος των οποίων είναι το όζον) έχει αποδειχθεί ότι είναι ιδιαίτερα επιβλαβείς για τον άνθρωπο και το περιβάλλον του.



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayupx>, 03/07/2015.
<http://www.skai.gr/files/temp//905AFDA81423C623D1E8D9FB546165FC.jpg>
http://www.learner.org/courses/envsci/visual/img_lrg/los_angeles_smog.jpg
http://www.anelixi.org/wp-content/uploads/13_2.jpg



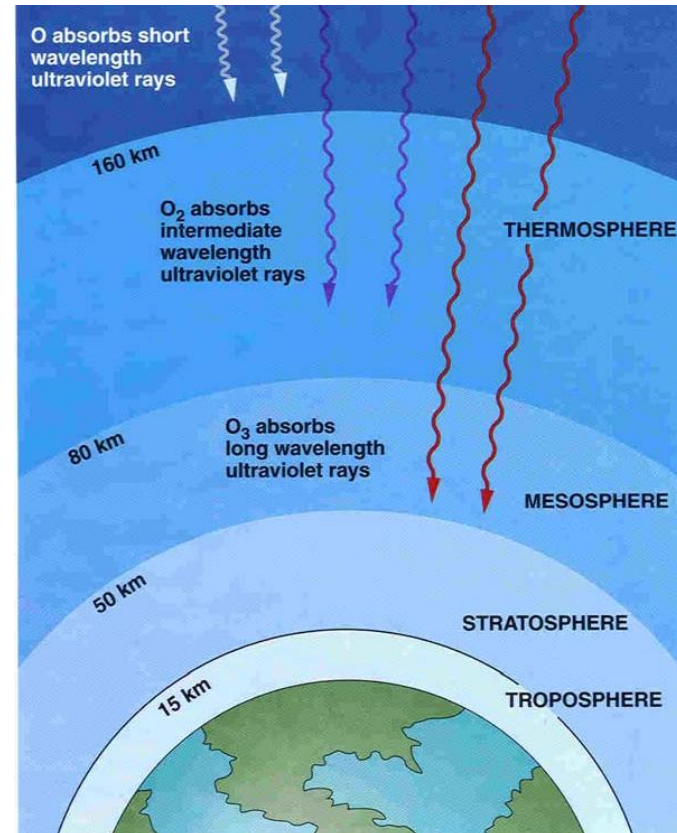
Όζον

- Μόριο οξυγόνου που περιέχει τρία άτομα του οξυγόνου (O_3).
- Σε κάθε εκατομμύριο μόρια του αέρα, λιγότερα από δέκα από αυτά τα μόρια είναι όζον.
- Κατά 90% περιέχεται στη Στρατόσφαιρα (σε υψόμετρο από 19 έως 48 χιλιόμετρα, από την επιφάνεια της Γης) και κατά 10% στην Τροπόσφαιρα (max στην κατώτερη στρατόσφαιρα στο ύψος των 19-23 km πάνω από τη γη).
- Στη Στρατόσφαιρα α) Θερμαίνει την περιοχή απορροφώντας μέρος της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας και β) Δεσμεύει το μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας που, εάν έφτανε στο έδαφος, θα κατέστρεφε το οικοσύστημα.



Ω του παραδόξου θαύματος...

- Η στοιβάδα του όζοντος βρίσκεται 15-20 χλμ. επάνω από τη γη, μέσα στη γήινη στρατόσφαιρα. Αυτό το στρώμα του «καλού» όζοντος μας προστατεύει από τις επιβλαβείς υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου.
- Το όζον σχηματίζεται με φυσικό τρόπο στη γήινη στρατόσφαιρα.
- Η ακτινοβολία του ήλιου διασπά τα μόρια του οξυγόνου. Οι ελευθερωμένοι δεσμοί ατόμων οξυγόνου με ένα μόριο οξυγόνου, σχηματίζουν το όζον!



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayupx,03/07/2015>.

<http://www.sir-ray.com/Chapte4.jpg>

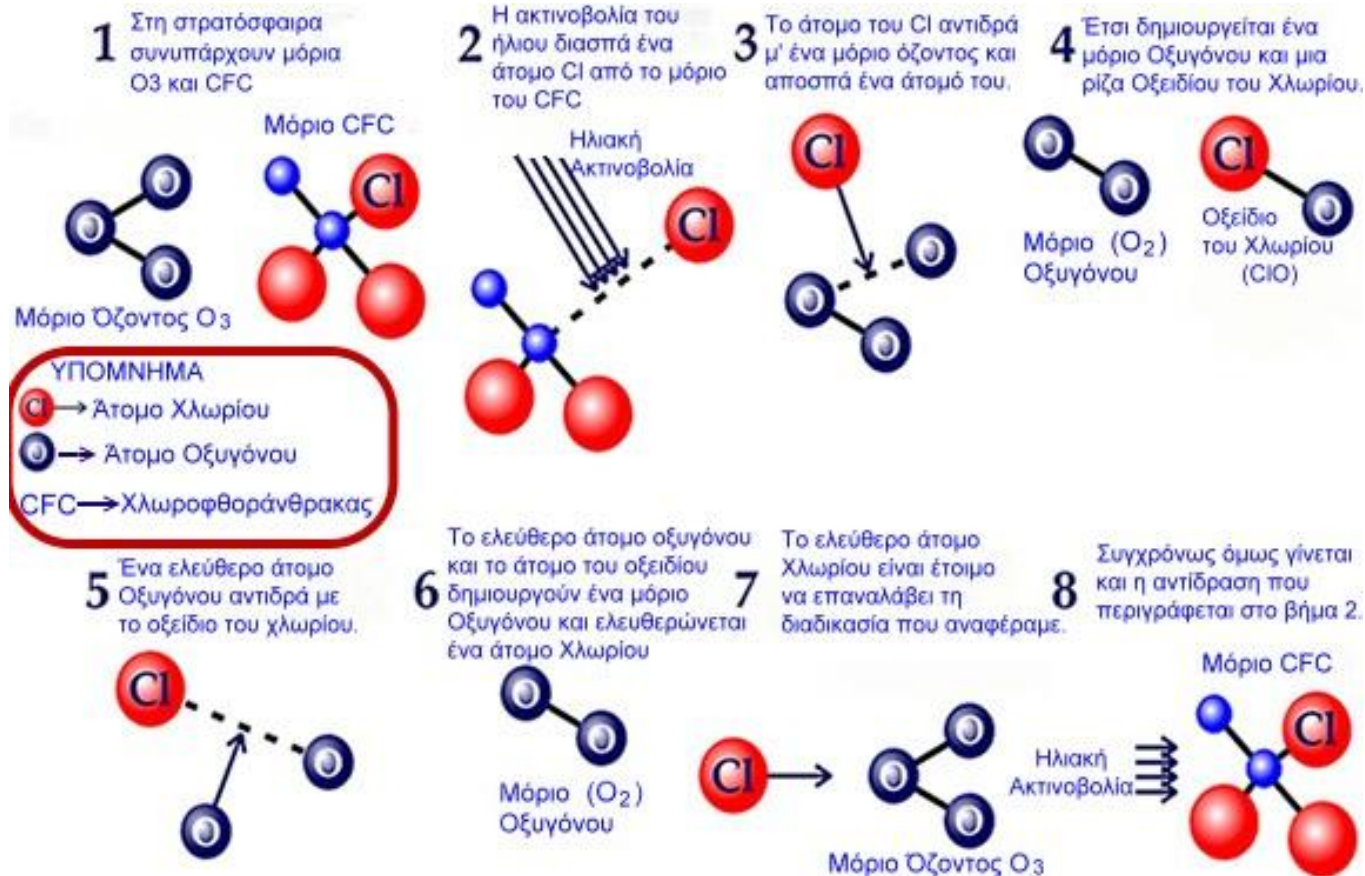


Τρύπα του Όζοντος (1/3)

- Το 1974 μια ομάδα του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας διαπίστωσε ότι το χλώριο, που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα υπό την μορφή διαφόρων χλωροφθορανθράκων (CFC) καταστρέφει το όζον.
- Οι χλωροφθοράνθρακες λόγω της μεγάλης χημικής τους σταθερότητας έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (παραμονή επί 40 έως και 120 χρόνια).
- Συσσωρευμένοι ανεβαίνουν σταδιακά στα ανώτερα στρώματα, όπου διασπώνται με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας απελευθερώνοντας άτομα χλωρίου. Κάθε άτομο χλωρίου μπορεί να διασπάσει ένα μόριο όζοντος (O_3).



CFC και όζον

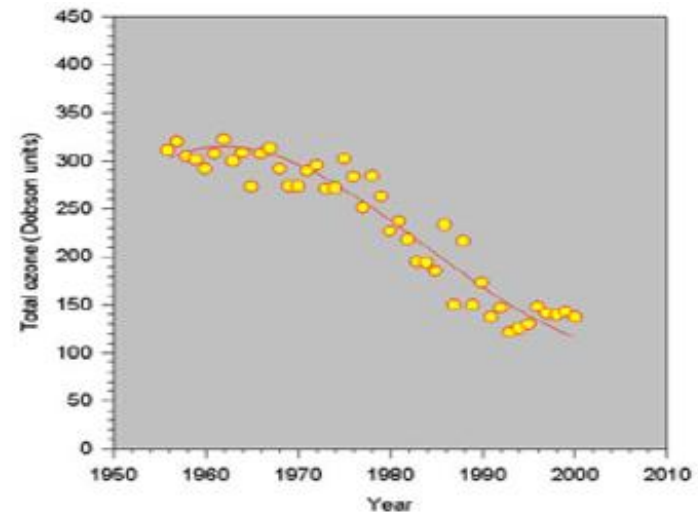
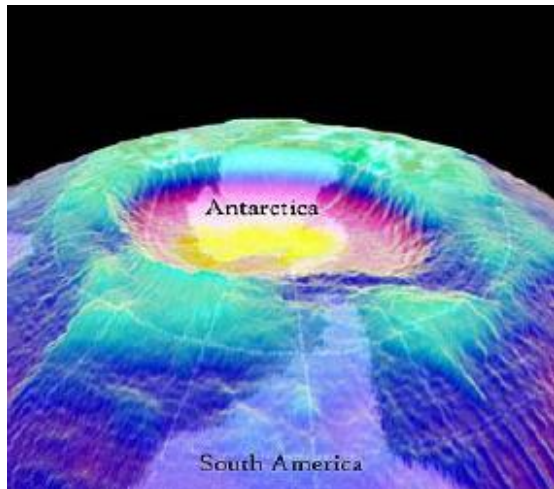


Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayuyx,03/07/2015>.



Τρύπα του όζοντος (2/3)

Μέσα της δεκαετίας του '70, Ανταρκτική:
παρατηρήθηκε μειωμένη συγκέντρωση O_3 σε
έκταση ≈ 7 εκ. km^2 .



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayurpx,03/07/2015>.

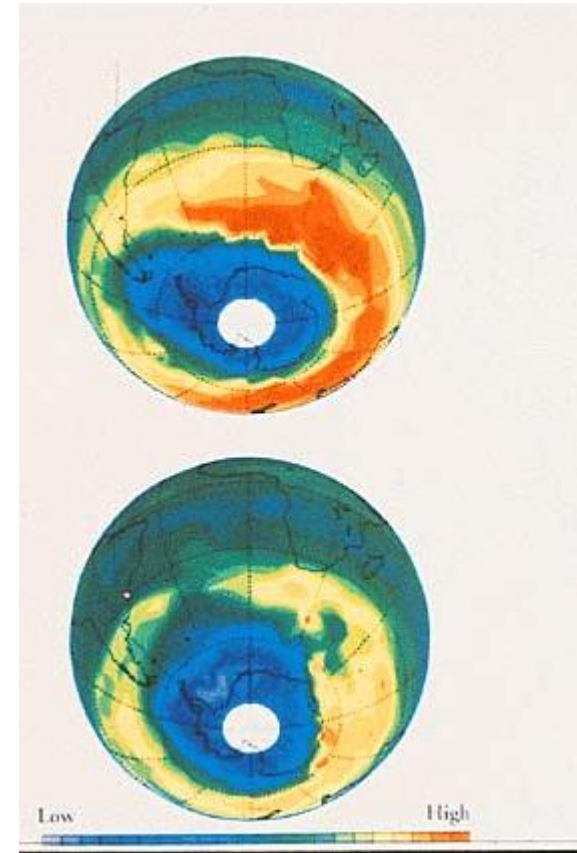
<http://www.globalization101.org/uploads/Image/Environment/ozone-image.JPG>

<http://www.epa.gov/ozone/science/indicat/depletion1.gif>



Τρύπα του όζοντος (3/3)

- Η τρύπα του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική, όπως απεικονίζεται σε υπολογιστή, με βάση τα στοιχεία περιβαλλοντικού δορυφόρου το 1991 (πάνω) και 1992 (κάτω).
- Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (1985) και Πρωτόκολλο του Λονδίνου (1990), που ορίζουν τρόπους περιορισμού των CFC (συνήθως περιέχονται σε ψυγεία, σπρέι κ.λπ.) Αντικατάσταση (CFC) από (HCFC).



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayuyx,03/07/2015>.



Επιπτώσεις

- Αύξηση περιστατικών καρκίνου του δέρματος.
- Αύξηση των οφθαλμικών παθήσεων (καταρράκτης) και τυφλώσεις.
- Μεταλλάξεις γενετικού υλικού.
- Θάνατος μονοκύτταρων οργανισμών.
- Προστασία:
 - Μείωση της χρήσης μορίων CFCs...



Ω μοίρα κακή...

- Το όζον της τροπόσφαιρας και ιδιαίτερα στο επίπεδο του εδάφους, είναι ένας βλαβερός αέριος ρύπος.
- Οι κύριες εκπομπές αερίων ρύπων όπως οξειδίων του αζώτου (NO_x) και οργανικών πτητικών υδρογονανθράκων (VOC) από ανθρωπογενείς δραστηριότητες στον αέρα, καθώς και οι ηλιόλουστες, θερμές ημέρες, συντελούν με βάση φωτοχημικές αντιδράσεις στο σχηματισμό όζοντος (O_3).



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayupx,03/07/2015>.

<http://airalliancehouston.org/wp-content/uploads/Houston-Ozone-Dirty.jpg>



Καταστρεπτικό στην ατμόσφαιρα

- $<100 \mu\text{g}/\text{m}^3$: αλλοιώσεις στο χρώμα των φυτών και ανοιχτόχρωμες κηλίδες στα φύλλα.
- $>100 \mu\text{g}/\text{m}^3$: νέκρωση φύλλων και ασφυξία, επιβράδυνση της ανάπτυξης, ευπάθεια σε ασθένειες και φυσικούς εχθρούς και πρόωρη γήρανση.
- $>100 \mu\text{g}/\text{m}^3$: αναπνευστικά προβλήματα, βήχα, πονοκεφάλους, ερεθισμό στα μάτια και δακρύρροια, καθώς και γενική δυσφορία σε άτομα με ευαίσθητη υγεία (καρδιοπαθείς, ασθματικούς, αλλεργικούς, μικρά παιδιά).
- Επιδρά καταστρεπτικά σε υλικά οργανικής προέλευσης, όπως ελαστικά οχημάτων, υφάσματα, ελαστικούς σωλήνες άρδευσης κ.λπ.



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayuyx,03/07/2015>.



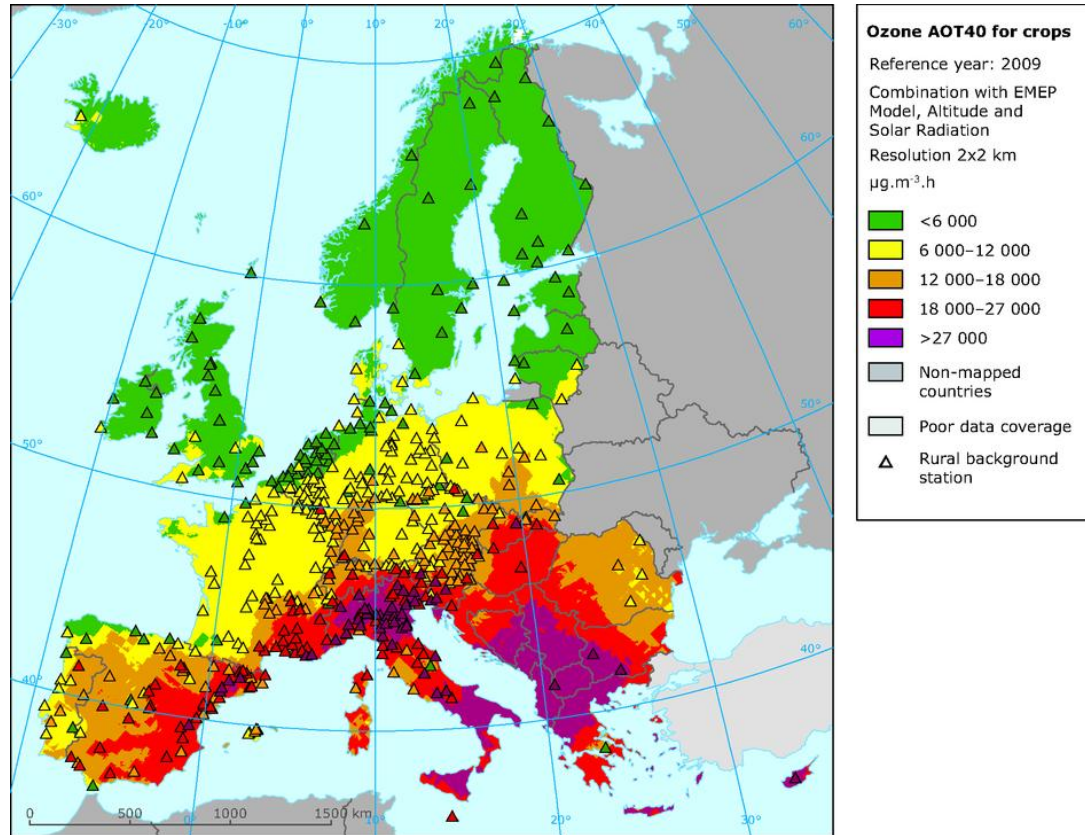
Βλάβες του όζοντος



Πηγή: <http://www.ozoneinjury.org/>, 04/07/2015.



Δείκτης AOT40 για καλλιέργειες



Rural concentration map of the ozone indicator AOT40 for crops, year 2009
(Πηγή: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/rural-concentration-map-of-the-ozone-indicator-aot40-for-crops-year-4>, 04/07/2015).

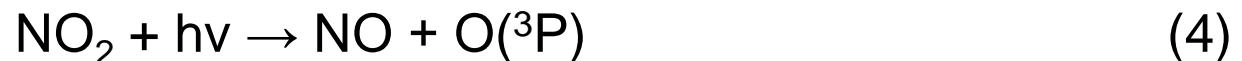
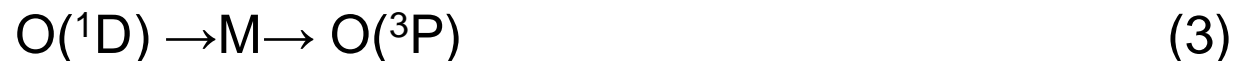


Φωτοχημική Αιθαλομίχλη (1/4)

- Κατά την αντίδραση μοριακού οξυγόνου με ατομικό οξυγόνο στη βασική κατάσταση σχηματίζεται όζον:



- Το ατομικό οξυγόνο παράγεται κατά τη φωτόλυση (υπεριώδης ακτινοβολία μήκους κύματος 290-420 nm) σταθερών μορίων:

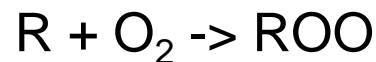


- Στην αντίδραση (3) το 'M' παριστάνει κάποιο τρίτο μόριο (π.χ. N_2), που παραλαμβάνει την ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη μετάβαση του ατομικού οξυγόνου από τη διεγερμένη κατάσταση [$\text{O}(^1\text{D})$] στη βασική κατάσταση [$\text{O}(^3\text{P})$].

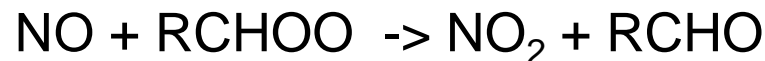


Φωτοχημική Αιθαλομίχλη (2/4)

- Αντιδράσεις ρίζας υδροξυλίου με υδρογονάνθρακα για τον σχηματισμό ρίζας υπεροξειδίου:



- Φωτόλυση αλδεϋδών για τον σχηματισμό ρίζας υπεροξειδίου και ρίζας υδροϋπεροξειδίου.
- Αντιδράσεις μεταξύ όζοντος και αλκενίων για τον σχηματισμό αλδεϋδης και διπλής ρίζας αλκυλίου.
- Οργανικές ρίζες μπορούν να οξειδώσουν το NO σε NO₂



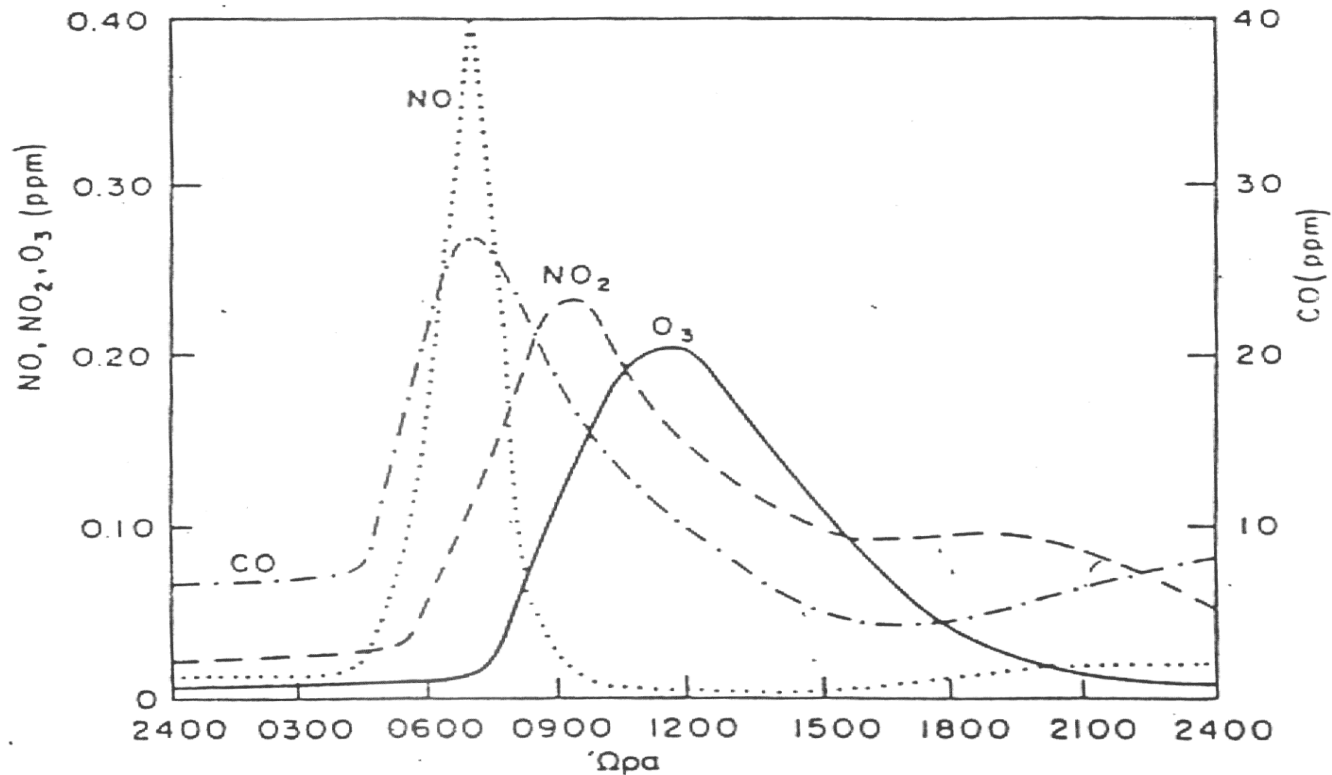
Φωτοχημική Αιθαλομίχλη (3/4)

- Οι παραπάνω αντιδράσεις δείχνουν ότι το μονοξείδιο του άνθρακα και, ιδιαίτερα, οι υδρογονάνθρακες στην ατμόσφαιρα δίνουν λαβή σε αλυσιδωτές αντιδράσεις, κατά τις οποίες το NO οξειδώνεται σε NO₂ χωρίς να καταναλωθεί όζον.
- Τα συστήματα των αλυσιδωτών αυτών αντιδράσεων μπορούν να οδηγήσουν σε πολύ υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων φωτοχημικών οξειδωτικών στην ατμόσφαιρα με ταυτόχρονη αποσύνθεση υδρογονανθράκων.



Φωτοχημική Αιθαλομίχλη (4/4)

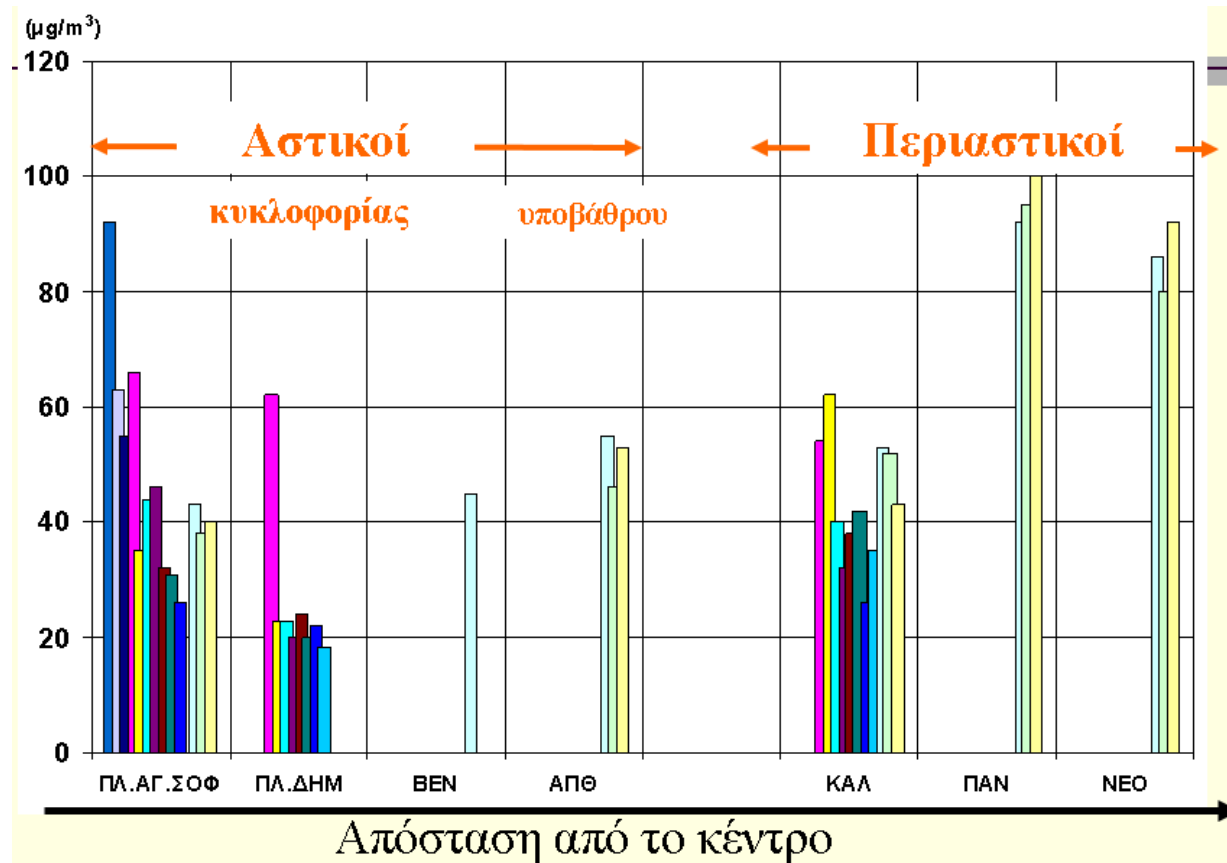
Στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, πού παρατηρούνται υψηλές συγκεντρώσεις NO_x και O_3 .



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayuyx>, 03/07/2015.



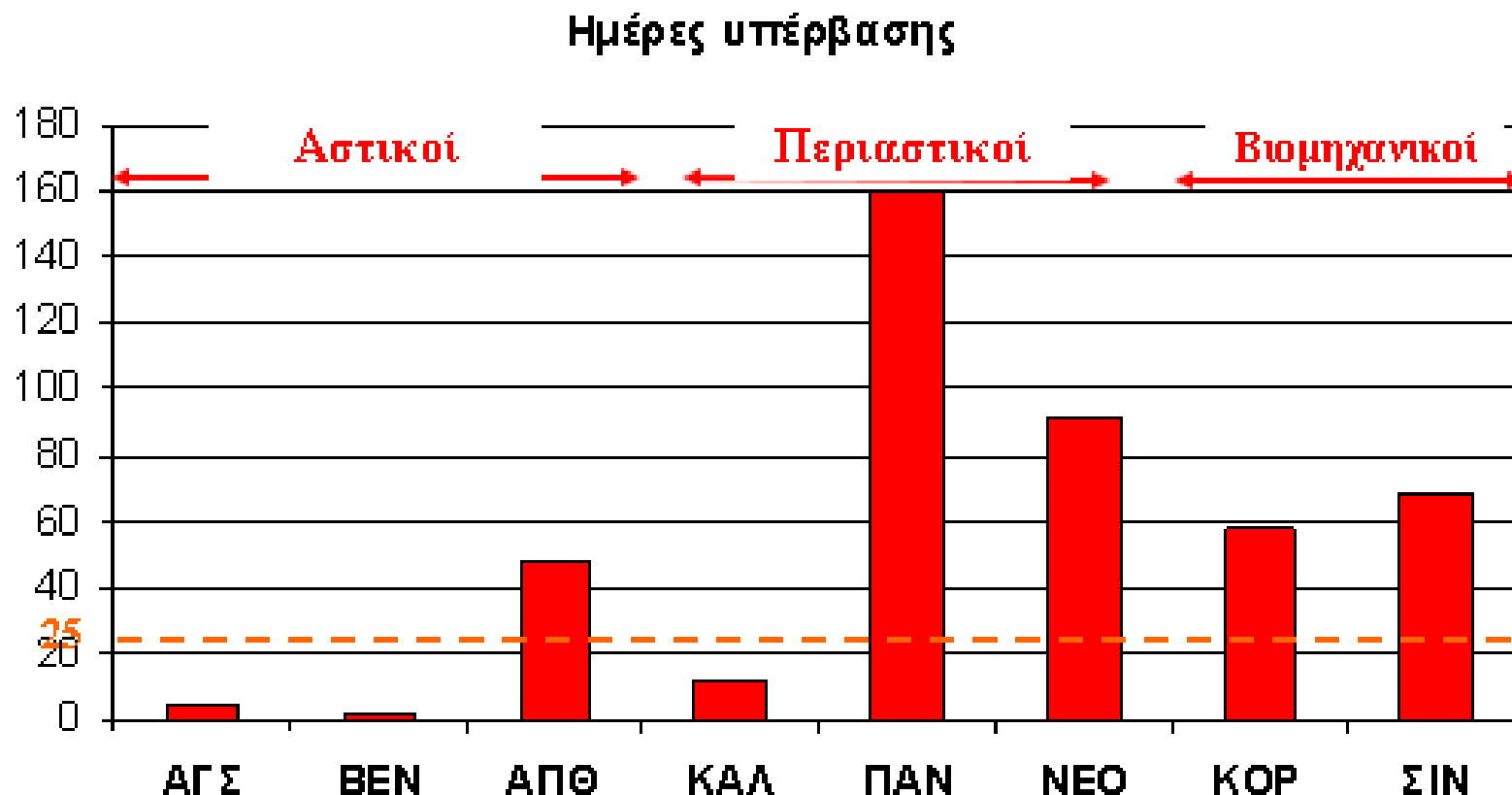
O₃ στη Θεσσαλονίκη, εξέλιξη 1990-2003



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayuyx>, 03/07/2015.



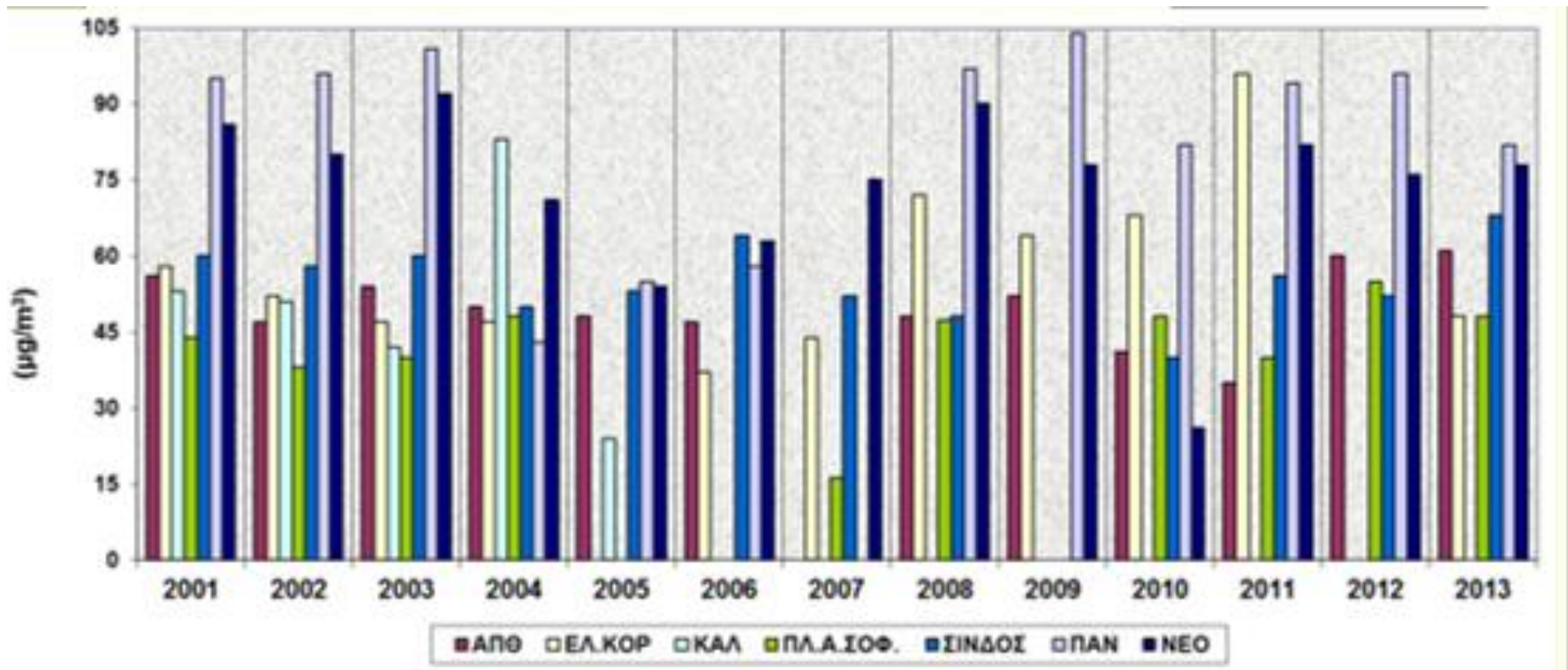
Ο₃ στη Θεσσαλονίκη, ημέρες υπέρβασης το 2002



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayuyx,03/07/2015>.



Διαχρονική μεταβολή των υπερβάσεων O_3 , 2001-2013



Πηγή: <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayuyx,03/07/2015>.



Συμπεράσματα για την ποιότητα αέρα σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη (2002)

- **O_3** : Η οριακή τιμή για την προστασία της ανθρώπινης υγείας ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, <25 ημέρες) υπερβαίνεται συστηματικά στους περισσότερους σταθμούς, κυρίως στην περιφέρεια των αστικών κέντρων.
- **NO_2** : Παρατηρούνται σημαντικές υπερβάσεις του ετήσιου μέσου όρου ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) αλλά και μεμονωμένες ωριαίες υπερβάσεις ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) σε αστικούς σταθμούς κυκλοφορίας.
- **$ΑΣ_{10}$** : Παρατηρούνται σημαντικές υπερβάσεις όλων των ορίων, βασική αιτία η κυκλοφορία των αυτοκινήτων.



Πρόβλεψη εξέλιξης ποιότητας αέρα

Βασικό ερώτημα: Ποιο θα πρέπει να είναι το ποσοστό μείωσης των εκπομπών ρύπων σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη για να ικανοποιείται η κείμενη Ευρωπαϊκή νομοθεσία;

Απαιτείται η εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων υπολογισμού της διασποράς αερίων ρύπων. Επιχειρείται σχετική διερεύνηση για τα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων AS_{10} στην Αθήνα.



Συμπεράσματα της διερεύνησης

- Παρά τις όποιες προόδους, η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα φωτοχημικής ρύπανσης και αιωρουμένων σωματιδίων.
- Προς επίτευξη των αυστηρών ορίων ως προς τα επίπεδα αστικού υποβάθρου AS_{10} για το 2010, απαιτείται μείωση των πρωτογενών εκπομπών τους κατά 65%.
- Για να μην υπερβαίνονται τα όρια ούτε σε τοπικό επίπεδο, χρειάζεται επιπρόσθετη μείωση των τοπικών εκπομπών κατά 30%.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/2)

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
 - Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες:
 - <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayuyx>, 03/07/2015.
 - <http://park.org/Philippines/pinatubo/>, 03/07/2015.
 - <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/rural-concentration-map-of-the-ozone-indicator-aot40-for-crops-year-4>, 04/07/2015.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/2)

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
 - Πίνακες:
 - <http://eclass.auth.gr/modules/document/document.php?course=MENG352&openDir=/4ac62a0ayuyx,03/07/2015>.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Μουσιόπουλος Νικόλαος. «Ατμοσφαιρική Ρύπανση. Ατμοσφαιρικοί ρύποι». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS407/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: <Περκουλίδης Γιώργος>
Θεσσαλονίκη, <Εαρινό Εξάμηνο 2014-2015>



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

