



Μάθημα 5^ο : Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Οι βασικότεροι ρύποι

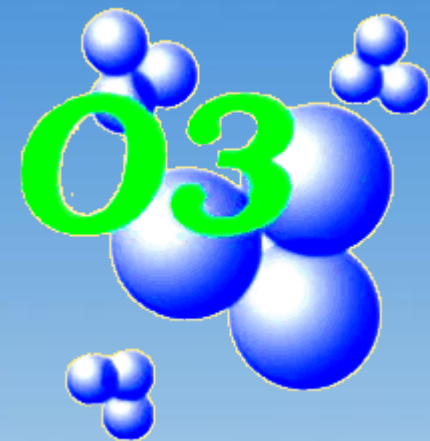
Όζον (O_3)



Όζον (O₃)

Το όζον (O₃) είναι μια αλλοτροπική μορφή οξυγόνου. Είναι ένα αέριο σχετικά ασταθές, άχρωμο, ισχυρά οξειδωτικό, ισχυρά τοξικό με χαρακτηριστική οσμή και κυανό χρώμα. Είναι λίγο διαλυτό στο νερό και λόγω της αστάθειάς του διασπάται εύκολα και δεν αφήνει υπολείμματα. Στην ανώτερη ατμόσφαιρα (στρατόσφαιρα) το όζον είναι ευεργετικό για τον άνθρωπο και το περιβάλλον του αφού απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας [1].

Στην κατώτερη ατμόσφαιρα και κυρίως στο ύψος που κινείται και ζει ο άνθρωπος, το όζον δημιουργείται από πρωτογενείς ρύπους όπως τα οξείδια του αζώτου, τους υδρογονάνθρακες από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων και της βιομηχανίας και τις πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs). Οι παραπάνω ρύποι, με τη συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας, αντιδρούν με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, κυρίως όταν έχουμε ζεστό και καλό καιρό, παράγοντας όζον (O₃) [1].



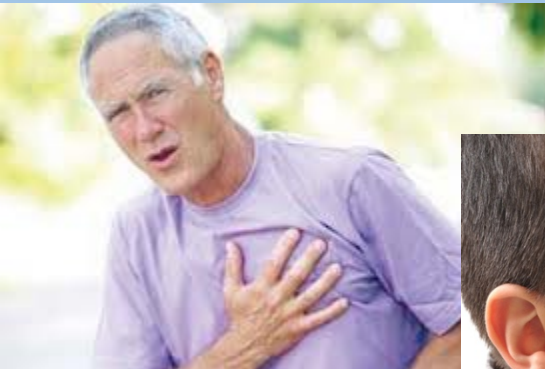
Όζον (O₃)

Πηγές αυτού του δευτερογενούς ρύπου είναι τα οχήματα, τα εργοστάσια, οι χωματερές, τα διάφορα χημικά διαλύματα και άλλες πολλές μικρότερες πηγές όπως τα βενζινάδικα, ο αγροτικός εξοπλισμός κλπ [1].



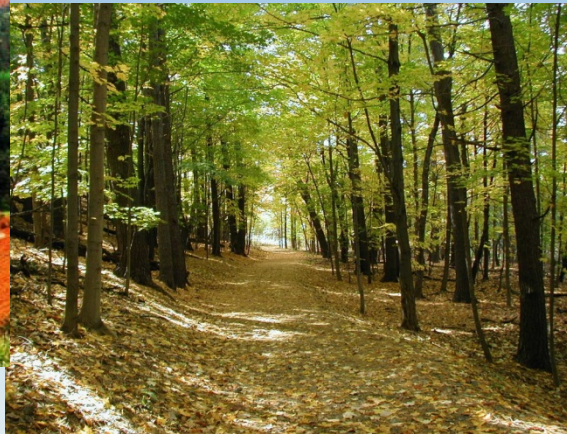
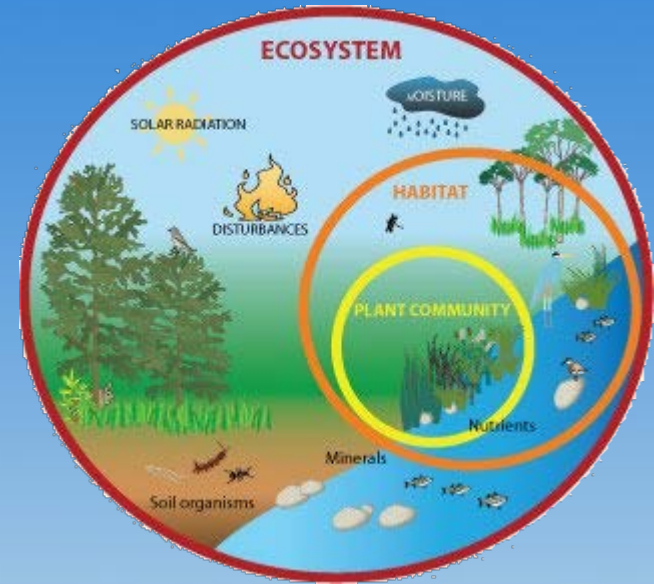
Όζον (O₃)

Έκθεση μικρής χρονικής διάρκειας (1-3 ώρες) και παρατεταμένης διάρκειας (6-8 ώρες) σε περιβάλλον όζοντος έχει συνδεθεί με μεγάλο αριθμό σοβαρών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και κυρίως αναπνευστικών προβλημάτων. Μακροχρόνια έκθεση του ανθρώπου σε συγκεντρώσεις όζοντος, προκαλεί πόνους στο στέρνο, επίμονο βήχα, ερεθισμό της αναπνευστικής οδού, διαταραχή της αναπνευστικής λειτουργίας, αίσθημα ξηρότητας στο λαιμό, πόνο στο στήθος, επιδείνωση παλαιότερων αναπνευστικών προβλημάτων όπως το άσθμα, σοβαρές φλεγμονές των πνευμόνων, ακόμα και μη αναστρέψιμες βλάβες των πνευμόνων. Όλα αυτά έχουν ως άμεσο αποτέλεσμα την πρόωρη γήρανση του ανθρώπου και χρόνιες αναπνευστικές ασθένειες [1].



Όζον (O₃)

Το όζον επίσης επιδρά αρνητικά και στο περιβάλλον, στη βλάστηση και στα οικοσυστήματα. Προκαλεί υποβάθμιση της ποιότητας των γεωργικών εκτάσεων ως προς την παραγωγική τους ικανότητα. Καταστρέφει το φύλλωμα των δέντρων και την αισθητική των δασών και των πάρκων [1].



Όζον (O₃)

Φυσικοχημικές ιδιότητες [2]:

Εμφάνιση: Αέριο με ελαφρά κυανό χρώμα αντιληπτό σε μεγάλες συγκεντρώσεις ή/και μεγάλα στρώματα, με δυσάρεστη οσμή σε σχετικά μεγάλες συγκεντρώσεις, η οποία θυμίζει κάπως την οσμή του χλωρίου, όπως και του λευκού φωσφόρου κατά την οξειδωσή του.

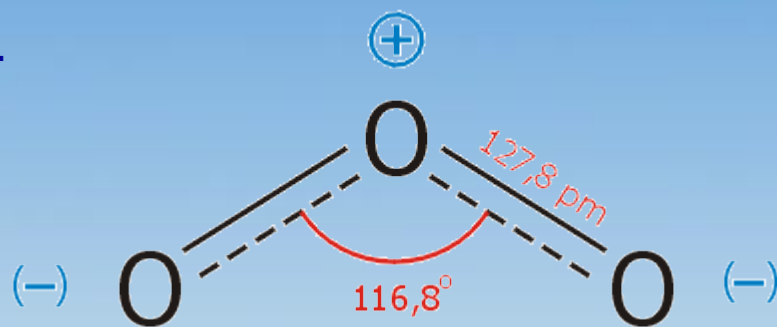
Μοριακός τύπος: O₃

Σχετική μοριακή μάζα: 47,998

Σημείο βρασμού: -111,9 °C

Σημείο τήξης: -192,5 °C

Διαλυτότητα στο νερό: 0,105 g/100mL (0 °C)

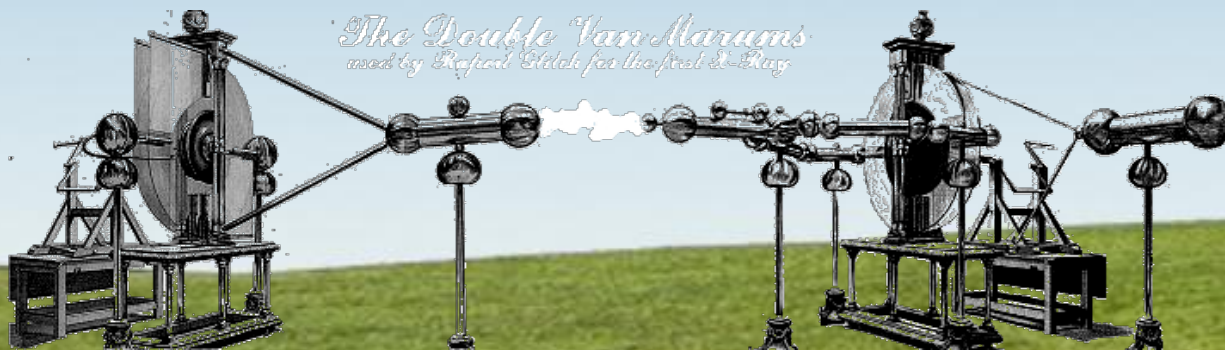


Όζον (O₃)

Το 1795, ο Ολλανδός πειραματιστής Martinus Van Marum (1750-1837) αντιλήφθηκε ότι ο αέρας κοντά σε μια ηλεκτροστατική γεννήτρια, αποκτούσε μια διαφορετική οσμή, όταν η γεννήτρια λειτουργούσε και πραγματοποιούνταν ηλεκτρικές εκκενώσεις [2]. Παρόμοια οσμή αποκτούσε ο αέρας κατά τη διάρκεια καταιγίδων με κάθε είδους ατμοσφαιρικές ηλεκτρικές εκκενώσεις (αστραπές, κεραυνοί). Η οσμή αυτή οφείλεται στο σχηματισμό όζοντος, μιας αλλοτροπικής μορφής του οξυγόνου περιορισμένης σταθερότητας. Οι περισσότεροι άνθρωποι μπορούν να αντιληφθούν την οσμή του όζοντος ακόμη σε συγκεντρώσεις 0.02-0.05 ppm, ή περίπου το 1/10 της μέγιστης επιτρεπόμενης για έκθεση 15 λεπτών (0.3 ppm)

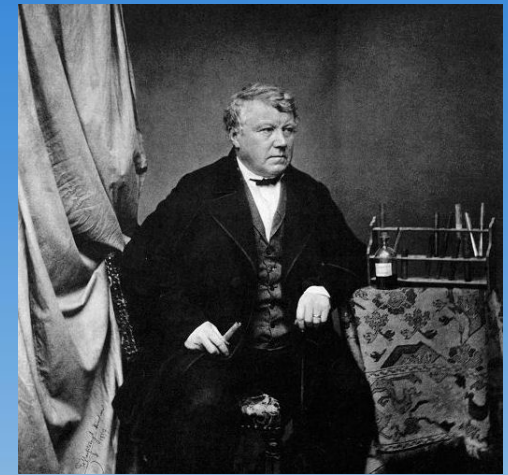


Martinus Van Marum
(1750-1837)



Όζον (O₃)

Το 1840, την ίδια οσμή αντιλήφθηκε ο Christian Friedrich Schönbein κατά την ηλεκτρόλυση ύδατος και ονόμασε την εκλυόμενη αέρια ουσία όζον (από την ελληνική λέξη: "όζω"). Το 1863 ο Ελβετός χημικός Jacques-Louis Soret (1827-1890) απέδειξε ότι το όζον είναι τριατομικό οξυγόνο (O₃) και αυτό επιβεβαιώθηκε από τον Schönbein δύο χρόνια αργότερα. [2]



Christian Friedrich Schönbein
(1799-1868)



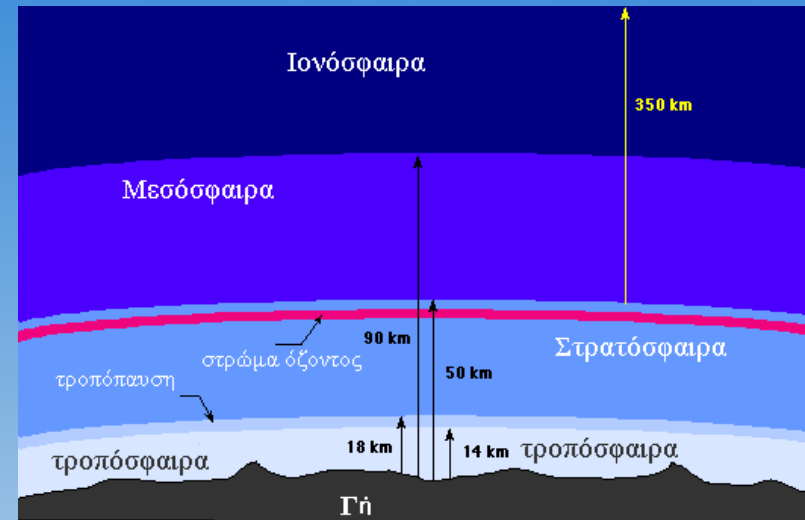
Jacques-Louis Soret
(1827-1890)



Όζον (O_3)

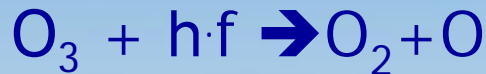
Τον 20^ο αιώνα πιστοποιήθηκε ότι το όζον βρίσκεται σε ίχνη 0.1-1.1 ppmv στη στρατόσφαιρα, δηλαδή στο στρώμα της ατμόσφαιρας σε ύψος 15-50 χιλιομέτρα από την επιφάνεια της Γης [2].

Το όζον είναι εξαιρετικά αραιό και εκτιμάται πως αν όλο το όζον μπορούσε να συγκεντρωθεί σε μια στιβάδα καθαρού όζοντος στην επιφάνεια της Γης, αυτή θα είχε πάχος μόλις 3mm.

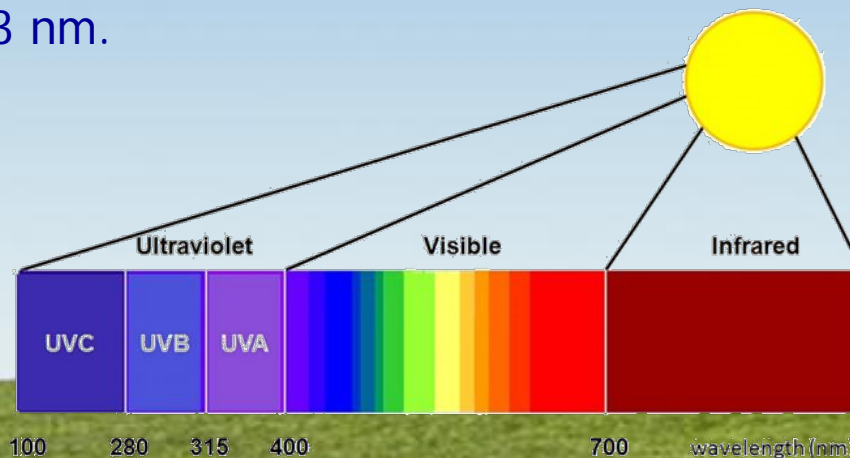
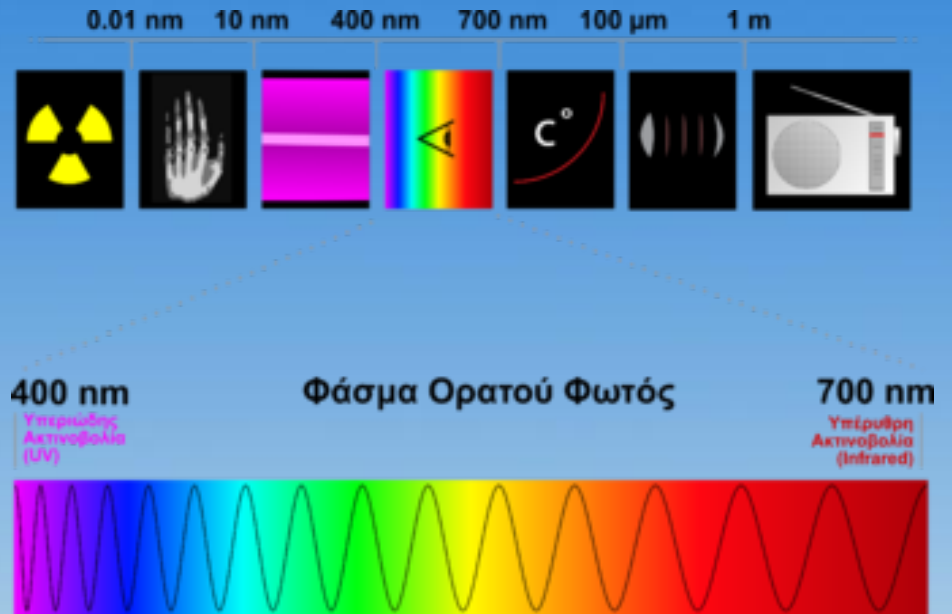


Όζον (O₃)

Το όζον αυτό έχει προστατευτική σημασία για τους ζωντανούς οργανισμούς στην επιφάνεια της Γης επειδή απορροφά τη βλαβερή υπεριώδη ακτινοβολία (UV) του Ήλιου και ιδιαίτερα της περιοχής Β, (UV-B, 280-320 nm), λόγω της αντίδρασης απορρόφησης [2]:



Η μέγιστη απορρόφηση του όζοντος παρουσιάζεται στα 255.3 nm.



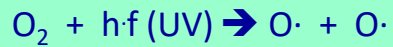
Όζον (O₃)

Όταν δεν υπήρχε ακόμη όζον στην ατμόσφαιρα, οι αρχέγονοι οργανισμοί μπόρεσαν να αναπτυχθούν στο νερό των ωκεανών και σε αρκετό βάθος, που τους προφύλαγε από την υπεριώδη ακτινοβολία. Τα τελευταία 500 εκατομμύρια χρόνια τα κυανοβακτήρια παρήγαγαν με φωτοσύνθεση αρκετό οξυγόνο (O₂) στην ατμόσφαιρα. Μικρό μέρος του οξυγόνου της στρατόσφαιρας μετατράπηκε σε όζον (O₃) δημιουργώντας μια μεγάλη διάχυτη περιοχή της τροπόσφαιρας, που συχνά αναφέρεται ως **οζονόσφαιρα**. Το οξυγόνο και το όζον απορροφούν τις βλαπτικές υπεριώδεις ακτινοβολίες και το γεγονός αυτό επέτρεψε να εξελιχθούν οι οργανισμοί σε αμφίβιους και στη συνέχεια σε χερσαίους [2].

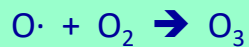


Όζον (O₃)

Φυσικός σχηματισμός στρατοσφαιρικού O₃ [2]

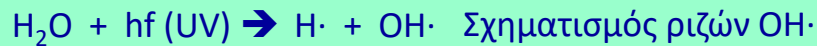


Η ακτινοβολία UV με $\lambda < 242 \text{ nm}$ διασπά το μοριακό οξυγόνο σε ρίζες ατομικού οξυγόνου

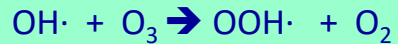


Το ατομικό οξυγόνο αντιδρά με το μοριακό οξυγόνο παρέχοντας όζον. Τυχαία μόρια της ατμόσφαιρας (M), όπως τα N₂ και O₂, είναι απαραίτητα για την απορρόφηση της πλεονάζουσας ενέργειας

Φυσική καταστροφή του στρατοσφαιρικού O₃ [2]



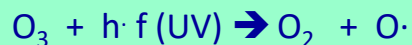
Σχηματισμός ριζών OH·



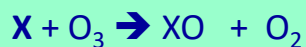
Αντίδρασή τους με το όζον με σχηματισμό των ριζών OOH·



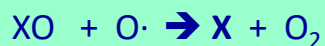
Αντίδρασή τους με το όζον με επανασχηματισμό OH·



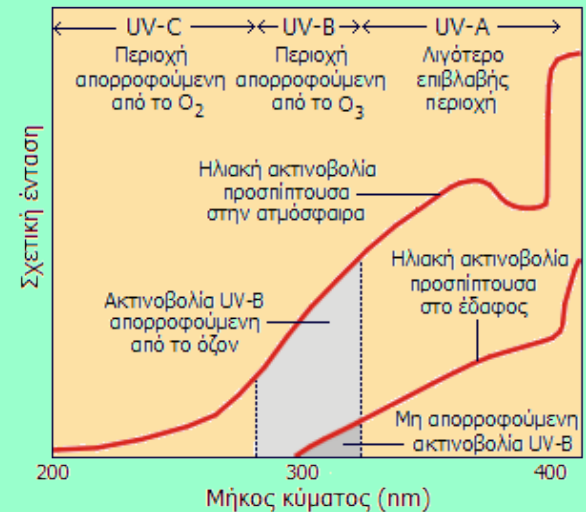
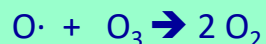
Το όζον διασπάται απορροφώντας την υπεριώδη ακτινοβολία



Ρίζες (X = H, OH·, NO·, Cl·) οδηγούν σε μια καταλυτική καταστροφή του όζοντος

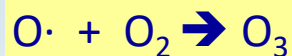
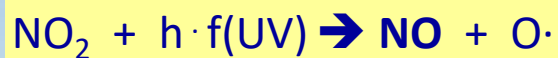
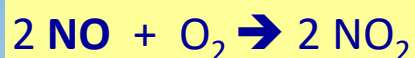
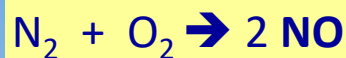


Επανασχηματισμός της ρίζας X



Όζον (O₃)

**Ανθρωπογενής σχηματισμός
τροποσφαιρικού/επιφανειακού
όζοντος [2]**



Σχηματισμός NO σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης (π.χ. σε μηχανές εσωτερικής καύσης)

Το NO οξειδώνεται από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο προς το πορτοκαλόχρωμο αέριο NO₂

Υπό την επίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας το NO₂ διασπάται παρέχοντας ατομικό οξυγόνο και το NO επανέρχεται στο κύκλο της αντίδρασης (αυτή η αντίδραση προϋποθέτει ηλιοφάνεια).

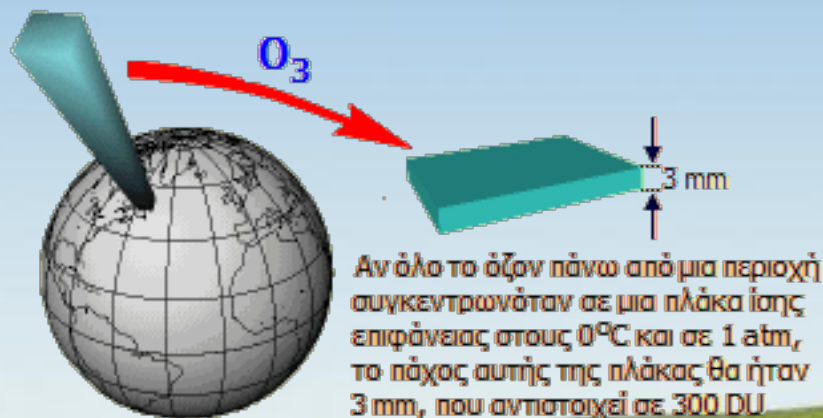
Το ατομικό οξυγόνο αντιδρά με το μοριακό οξυγόνο παρέχοντας όζον.

Όζον (O₃)

Το όζον της ατμόσφαιρας σε μια περιοχή της Γης μετρείται σε μονάδες Dobson (Dobson Units, DU) που αποδίδουν το πάχος (σε 0.01 mm) στρώματος καθαρού όζοντος το οποίο θα περιείχε όλο το όζον μιας στήλης επεκτεινόμενης από την επιφάνεια της Γης έως το κενό του διαστήματος ή (με άλλα λόγια) θα είχε το ίδιο αποτέλεσμα ως προς την απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας [2].

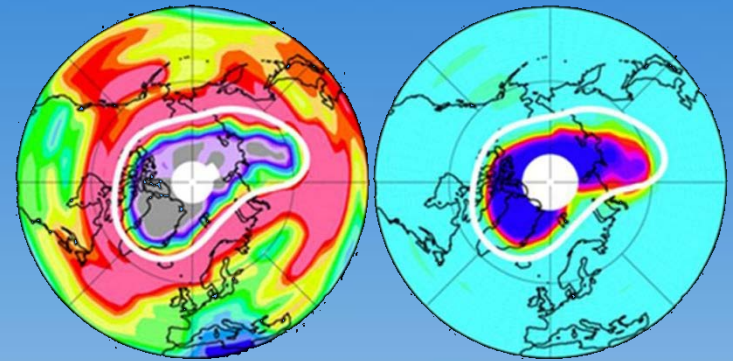
Κατά μέσο όρο το όζον πάνω από τη Γη είναι 300 DU, δηλαδή αν όλο το όζον συγκεντρωνόταν σε μια στιβάδα καθαρού όζοντος στην επιφάνεια της γης, αυτή θα είχε "πάχος" μόλις $300 \times 0.01 = 3.0$ mm (στους 0°C και 1 atm).

Μία μονάδα Dobson αντιστοιχεί προς 2.69×10^{16} μόρια O₃/cm² ή 0.447 mmol O₃/m².



Όζον (O₃)

Ουσιαστικά οι μονάδες Dobson αποδίδουν τη μέση πυκνότητα του όζοντος πάνω από μια περιοχή της Γης. Ως όριο για χαρακτηρισμό μιας περιοχής της ατμόσφαιρας ως "τρύπα όζοντος" έχουν συμβατικά τεθεί οι 220 μονάδες Dobson [2].



Gordon Miller Bourne Dobson
(1889-1976)

Ο Gordon Miller Bourne Dobson (1889-1976) υπήρξε ένας Βρετανός φυσικός και μετεωρολόγος που εκτέλεσε σημαντικές έρευνες πάνω στο ατμοσφαιρικό όζον και υπήρξε εφευρέτης του φασματοφωτομέτρου όζοντος Dobson (γνωστού και ως Dobsonmeter).



Όζον (O_3)

Το φασματοφωτόμετρο αυτό μπορεί από την επιφάνεια της Γης να μετρήσει με ακρίβεια την πυκνότητα του ατμοσφαιρικού όζοντος. Η λειτουργία του βασίζεται σε μέτρηση της υπεριώδους ακτινοβολίας του Ηλίου σε 2 έως 6 διαφορετικά μήκη κύματος από τα 305 έως τα 345 nm. Με μέτρηση σε δύο διαφορετικά μήκη κύματος μπορεί να υπολογιστεί η μέση συγκέντρωση της υπεράνω του φασματοφωτομέτρου αέριας στήλης σε όζον. Στα 305 nm το όζον απορροφά ισχυρά, ενώ στα 325 nm η απορρόφηση είναι μικρή, ο λόγος των εντάσεων του φωτός στα δύο αυτά μήκη κύματος αποτελεί μέτρο της μέσης συγκέντρωσης του όζοντος από τα ανώτερα σημεία της ατμόσφαιρας έως το φασματοφωτόμετρο. Βραδυνές μετρήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν με πηγή φωτός τη Σελήνη ή διάφορους αστέρες [2].



Φασματόμετρο όζοντος Dobson σε λειτουργία στο Bouldertου Colorado



Όζον (O₃)

Πρέπει να σημειωθεί ότι σήμερα μικρός αριθμός φασματοφωτομέτρων όζοντος Dobson βρίσκονται σε λειτουργία. Η κατάσταση του ατμοσφαιρικού όζοντος σε ολόκληρο τον πλανήτη μελετήθηκε (1976-1994) με τον δορυφόρο Nimbus-7 εξοπλισμένο με το σύστημα **TOMS** (Total Ozone Mapping Spectrometer) και συνεχίζεται με το **OMI** (Ozone Monitoring Instrument) στον δορυφόρο Aura (εκτόξευση: 2004).

Περισσότερες λεπτομέρειες για τα συστήματα αυτά, όπως και η τρέχουσα κατάσταση του όζοντος στην ατμόσφαιρα μπορούν να αναζητηθούν στις σχετικές ιστοσελίδες της NASA [2].



Δορυφόρος Nimbus-7. Διεξήγαγε μετρήσεις όζοντος κατά το διάστημα 1978-1994, που ανέδειξαν το πρόβλημα της "τρύπας του όζοντος"

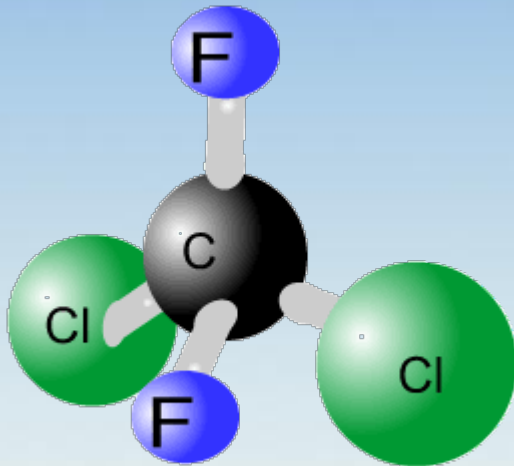


Όζον (O₃)

Το 1974 οι Molina και Rowland με το ιστορικό πλέον άρθρο τους στο περιοδικό Nature διατυπώνουν την μέχρι τότε μη πειραματική πρόβλεψη, ότι το στρατοσφαιρικό όζον καταστρέφεται από τους **χλωροφθοράνθρακες** (chlorofluorocarbons, CFC), γνωστοί και με την εμπορική ονομασία **Freon**, που χρησιμοποιούνταν σε ψυκτικά μηχανήματα και ως προωθητικά αέρια σε σπρέι [2].

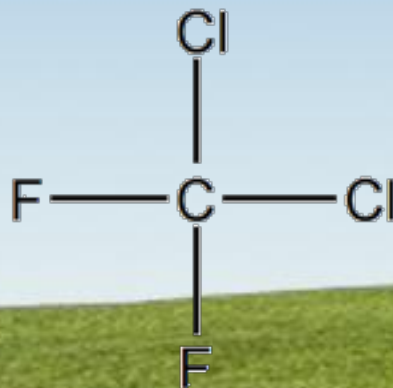
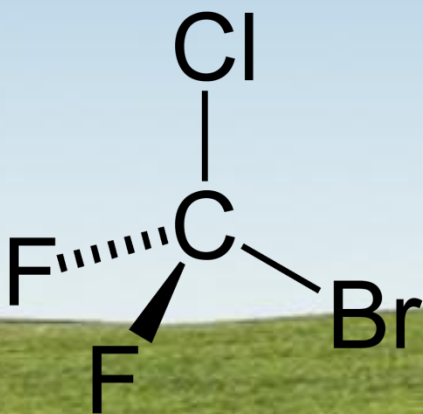


Mario J. Molina (1943-) και F. Sherwood Rowland (1927-). Από κοινού με τον Paul J. Crutzen, τιμήθηκαν το 1995 με το Nobel Χημείας για "την εργασία τους πάνω στην ατμοσφαιρική χημεία και ιδιαίτερα τον σχηματισμό και την καταστροφή του όζοντος".



Όζον (O₃)

Οι CFC άρχισαν να χρησιμοποιούνται από το 1928 σε ψυγεία, κλιματιστικά μηχανήματα, ως προωθητικά αέρια διαφόρων ειδών σπρέι, ως διαλύτες και καθαριστικά μέσα ηλεκτρονικών μικροκυκλωμάτων. Οι αντίστοιχες βρωμιούχες ενώσεις, οι **βρωμοφθοράνθρακες**, με την εμπορική ονομασία **Halon**, χρησιμοποιήθηκαν σε γομώσεις πυροσβεστήρων ως εξαιρετικά πυροσβεστικά μέσα. Ιδιαίτερα διαδεδομένα υπήρξαν τα Φρεόν CFCl₃, (CFC-11, σ.ζ. 24°C) και CF₂Cl₂ (CFC-12, σ.ζ. 28°C), C₂F₃Cl₃ (CFC-113), C₂F₄Cl₂ (CFC-114) που χρησιμοποιούνταν ως ψυκτικά υγρά. Η χημική τους αδράνεια, η σταθερότητά τους και η εύκολη εξάτμιση και επανασυμπύκνωσή τους τα καθιστούσε ιδανικά ως ψυκτικά υγρά. Σήμερα, εξαιτίας τους αποτελεί πρόβλημα η ανεξέλεγκτη αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωση παλαιών ψυγείων και κλιματιστικών συσκευών [2].



Όζον (O₃)

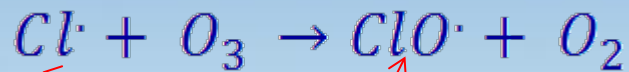
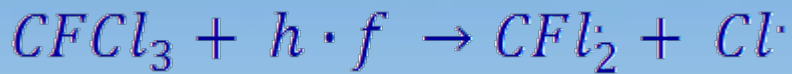
Το 1991 υπολογίστηκε ότι 600.000 τόνοι CFCs εκπέμπονταν στην ατμόσφαιρα κάθε χρόνο και με αυξητικές τάσεις. Με την πάροδο του χρόνου και λόγω της σταθερότητάς τους ανέρχονταν με αέριους στροβίλους και ρεύματα στην στρατόσφαιρα, παρ' όλο που οι ενώσεις αυτές είναι ειδικώς βαρύτερες από τον αέρα. Το ότι είναι πρακτικά αδιάλυτες στο νερό, δεν βοηθούσε στην απαλλαγή της ατμόσφαιρας από την παρουσία τους μέσω της βροχής [2].



Όζον (O₃)

Στο ανώτερο τμήμα της στρατόσφαιρας επικρατούν ισχυρότατες υπεριώδεις ακτινοβολίες, των οποίων η ενέργεια είναι ικανή να διασπάσει το δεσμό άνθρακα-χλωρίου.

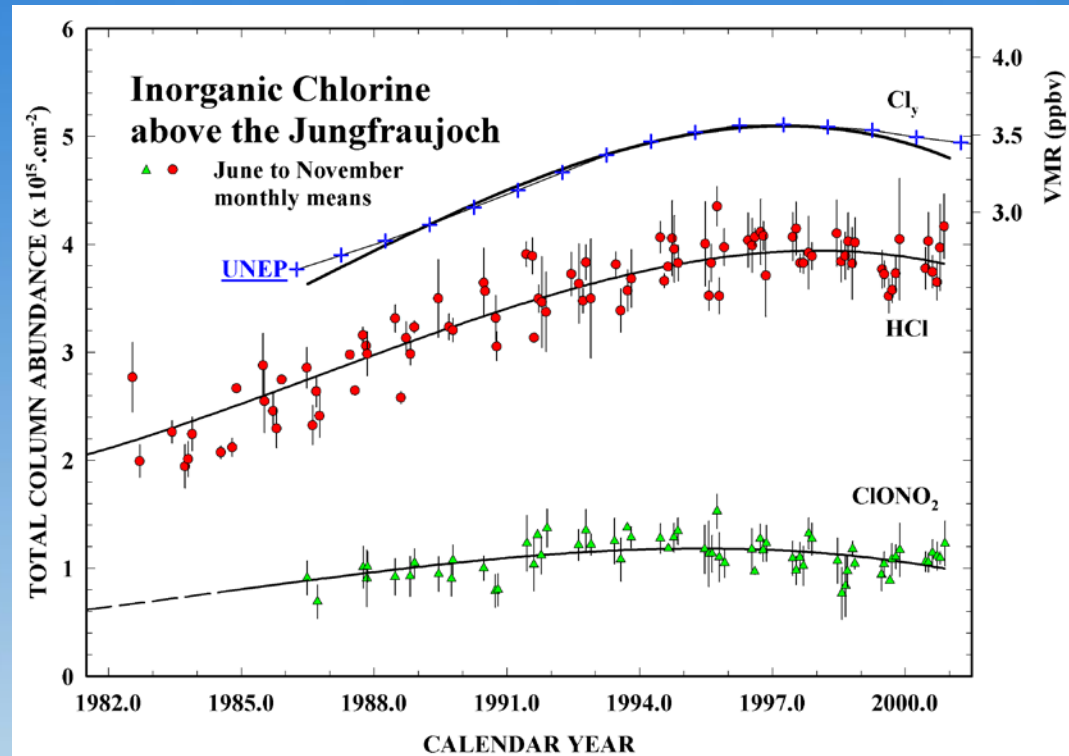
Από τη στιγμή που θα σχηματιστεί μια ρίζα χλωρίου, αυτή δρα καταλυτικά και εμπλέκεται σε ένα κύκλο καταστροφής μορίων όζοντος, που στην πιο απλή μορφή τους μπορούν να περιγραφούν από την παρακάτω αλληλουχία [2]:



Όζον (O₃)

Έχει εκτιμηθεί ότι μία ρίζα χλωρίου με συνεχείς αντιδράσεις μπορεί να καταστρέψει 100,000 μόρια όζοντος, μέχρις ότου απομακρυνθεί ως HCl ή νιτρικό χλώριο (ClONO₂).

Οι αντίστοιχες ρίζες βρωμίου είναι ακόμη καταστρεπτικότερες. Όλες οι πτητικές χλωριούχες και βρωμιούχες οργανικές ενώσεις χλωρίου και βρωμίου συμβάλλουν στην καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος [2].

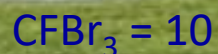
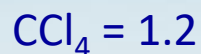
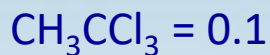


Σχήμα 1. Τυπικά παραδείγματα της διαχρονικής εξέλιξης τροποσφαιρικών αερίων που πρέπει να ρυθμίζονται σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο και που παίζουν σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Περίοδος 1982-2005. Jungfraujoch, Ελβετία [3]

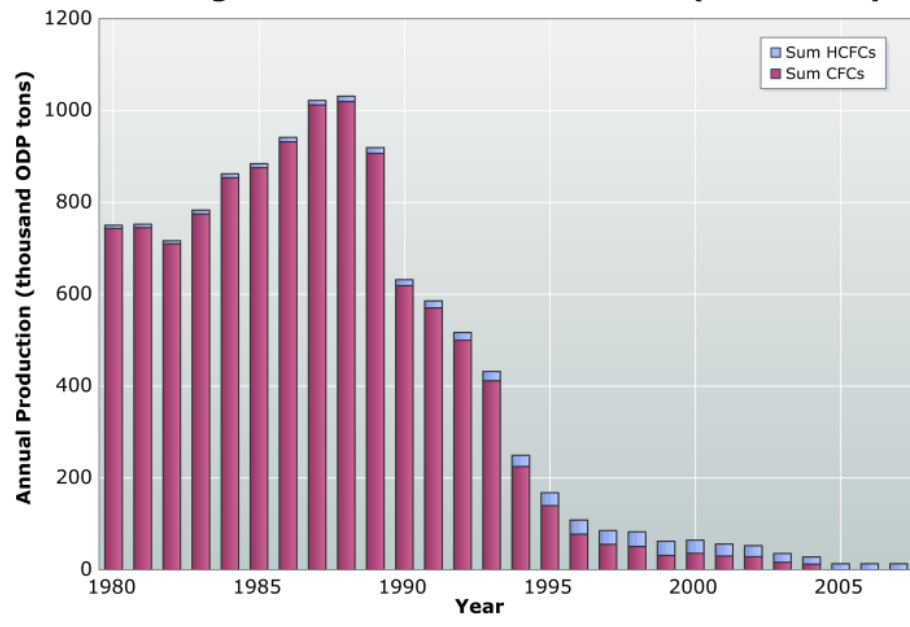
Όζον (O₃)

Έχει καθιερωθεί δείκτης ενδεικτικός της δυνατότητας μιας ένωσης να καταστρέψει δεδομένο αριθμό μορίων όζοντος σε δεδομένο χρονικό διάστημα. Ο δείκτης αυτός είναι γνωστός ως **δυναμικό καταστροφής όζοντος** (ozone depletion potential, ODP).

Ως ουσίες σύγκρισης λαμβάνονται οι ενώσεις CFC₁₂ και CFC₁₁ για τις οποίες έχουν εξ ορισμού ODP=1. Ενδεικτικές τιμές ODP για άλλες ενώσεις (με βάση το πρωτόκολλο Montreal) [2]:



ODP-Weighted Fluorocarbon Production (1980-2007)



Σχήμα 2. Ετήσια παραγωγή HCFCs και CFCs σταθμισμένη σύμφωνα με το δυναμικό καταστροφής του όζοντος (ODP) την περίοδο 1980-2007 [4]



Όζον (O₃)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι πέραν των καταστρεπτικών για το όζον κύκλων των χλωρο- και βρωμο-φθορανθράκων, ουσιών που είναι καθαρά ανθρωπογενούς προέλευσης, υφίστανται και άλλοι καταστρεπτικοί κύκλοι, όπως αυτός όπου καταλυτικά δρα το οξείδιο του αζώτου (NO). Το NO είναι φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας σε ίχνη, αλλά τεράστιες ποσότητες NO είναι ανθρωπογενούς προέλευσης με κύρια πηγή τα αεροσκάφη. Η καταλυτική καταστρεπτική δράση του NO περιγράφεται από την παρακάτω αλληλουχία [2]:



Όζον (O₃)

Η **"τρύπα όζοντος"** της **Ανταρκτικής**: Η εντονότερη καταστροφή του όζοντος συμβαίνει τους μήνες Οκτώβριο-Νοέμβριο στην Ανταρκτική. Η οπή του όζοντος στην Ανταρκτική ήταν η πρώτη που διαπιστώθηκε επιστημονικά (με δορυφορικές παρατηρήσεις). Συχνά τίθεται το ερώτημα: **"Γιατί στην Ανταρκτική και όχι στην 'Αρκτική;"**.

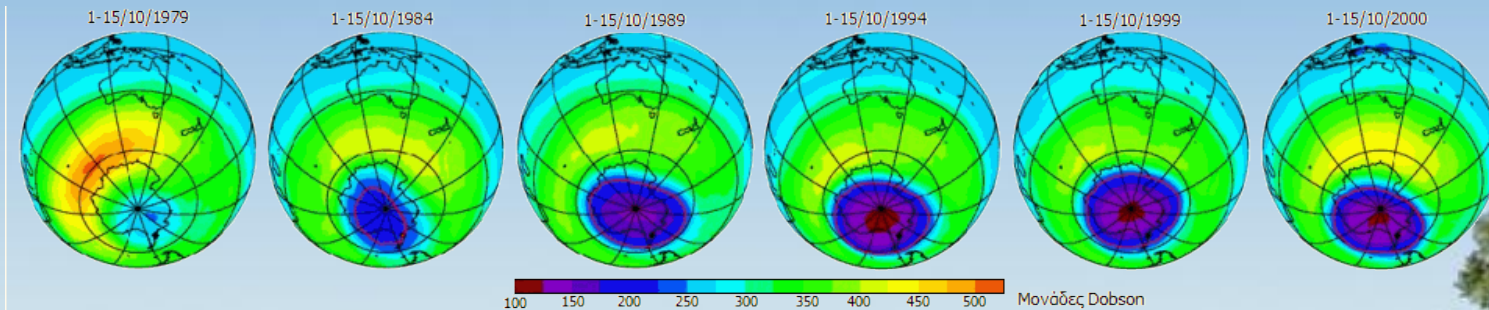
Το ότι η Ανταρκτική είναι η κύρια περιοχή, όπου το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται με ιδιαίτερη ένταση, είναι αποτέλεσμα πολλών συγκυριών [2].

Στην Ανταρκτική επικρατούν θερμοκρασίες -80°C και οι πολικοί στρόβιλοι παρεμποδίζουν την ανταλλαγή αέρα με τα μεσαία γεωγραφικά πλάτη. Στις συνθήκες αυτές σχηματίζονται υπερκατεψυγμένοι παγοκρύσταλλοι στα στρατοσφαιρικά σύννεφα, που εγκλωβίζουν υδρατμούς οξειδία αζώτου και χλωροφθοράνθρακες. Στο σχηματισμό "υπερκατεψυγμένων" πολικών νεφών συμβάλλουν τα υψηλά όρη της Ανταρκτικής, κάτι που δεν υπάρχει στην Αρκτική [2].



Όζον (O₃)

Οι επιφάνειες των παγοκρυστάλλων στην άνοιξη (Οκτώβριος στο νότιο ημισφαίριο) αρχίζουν να τήκονται και αποδείχθηκε ότι **καταλύουν** τη διάσπαση των πτητικών ενώσεων χλωρίου και βρωμίου με τη βοήθεια της υπεριώδους ακτινοβολίας, παρέχοντας τις αντίστοιχες "καταστρεπτικές" ρίζες χλωρίου και βρωμίου. Έτσι, ενισχύεται ο ρυθμός διάσπασης του όζοντος με τις αλυσιδωτές αντιδράσεις, που περιγράφηκαν προηγουμένως. Μετά το τέλος της άνοιξης ο πολικός στρόβιλος καταρρέει και άφθονες ποσότητες αέρα μεταφέρονται από άλλες περιοχές αναπληρώνοντας το όζον που χάθηκε με τις αντιδράσεις σχηματισμού του [2].



Όζον (O₃)

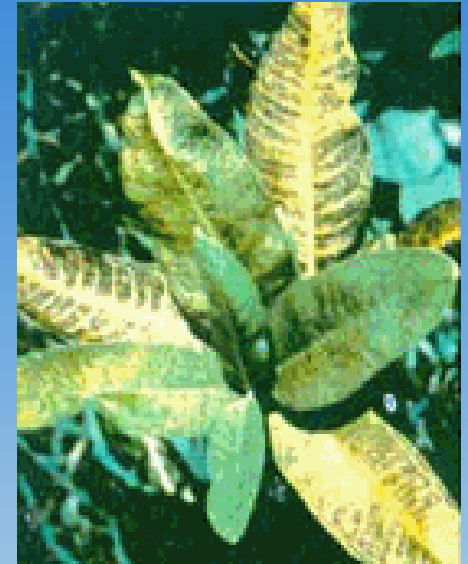
Ως δραστικό οξειδωτικό μέσο το όζον, όταν βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα είναι αναμενόμενο να προκαλεί φθορές σε διάφορα υλικά, όπως αποχρωματισμούς, ρωγμώσεις σε ελαστικά αντικείμενα (ozone crackings), πρόωρη "γήρανση". Ιδιαίτερα προσβάλλονται οι ακόρεστοι δεσμοί και αναφέρεται ότι η χρήση κορεσμένων ενώσεων για την παρασκευή ελαστικών υλικών τα καθιστά ανθεκτικά έναντι του όζοντος. Είναι χαρακτηριστικό ότι πολλές δοκιμές αντοχής υλικών στο χρόνο, πραγματοποιούνται σε ατμόσφαιρες με αυξημένες συγκεντρώσεις όζοντος για να "προσομοιωθούν" κατά το τρόπο αυτό σε σύντομο χρονικό διάστημα, οι επιπτώσεις μακροχρόνιας έκθεσής τους στην ατμόσφαιρα [2].



Όζον (O₃)

Το όζον παρουσιάζει έντονη φυτοτοξική δράση λόγω της ικανότητας διείσδυσης στους πόρους των φύλλων των φυτών και της οξειδωτικής του δράσης σε πολλά ένζυμα και βιομόρια.

Οι οξειδωτικές δράσεις επιδρούν στην ανάπτυξη των φυτών και δένδρων (μείωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας), μειώνουν την απόδοση της αγροτικής παραγωγής και έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη δασών [2].



Χαρακτηριστικές βλάβες στο φύλλωμα φυτών από τη δράση του όζοντος



Όζον (O₃)

Ιδιαίτερες προφυλάξεις (κυρίως καλό εξαερισμό) πρέπει να λαμβάνουν όσοι εργάζονται σε περιβάλλον που ευνοεί τον σχηματισμό όζοντος, όπως φωτοτυπικά μηχανήματα, εκτυπωτές laser, πηγές υπεριώδους ακτινοβολίας (φασμαφωτόμετρα, φθορισμόμετρα). Όζον παράγεται και κατά τη διάρκεια των ηλεκτροκολλήσεων [2].

Συσκευές που παράγουν συνεχώς κατά τη λειτουργία τους μεγάλες ποσότητες όζοντος, πρέπει να διαθέτουν συστήματα καταστροφής του. Στα συστήματα αυτά όζον καταστρέφεται διερχόμενο μέσω ηλεκτρικά θερμαινόμενου μεταλλικού πλέγματος ή μίγματος οξειδίων (MnO₂/CuO).



Όζον (O₃)

Η καταγραφή του επιφανειακού όζοντος γίνεται με τη βοήθεια ειδικών αναλυτών που βασίζονται και αυτοί στην επιλεκτική απορρόφηση του όζοντος της υπεριώδους ακτινοβολίας. Σύμφωνα με τον νόμο Beer-Lambert μια μονοχρωματική ακτινοβολία περνάει μέσα από ένα διάλυμα μιας ουσίας η οποία μπορεί να απορροφήσει την ακτινοβολία αυτή, τότε η ένταση της ακτινοβολίας μειώνεται σύμφωνα με τη σχέση [5]:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot L \cdot C}$$

όπου:

I_0 : Η αρχική ένταση της ακτινοβολίας

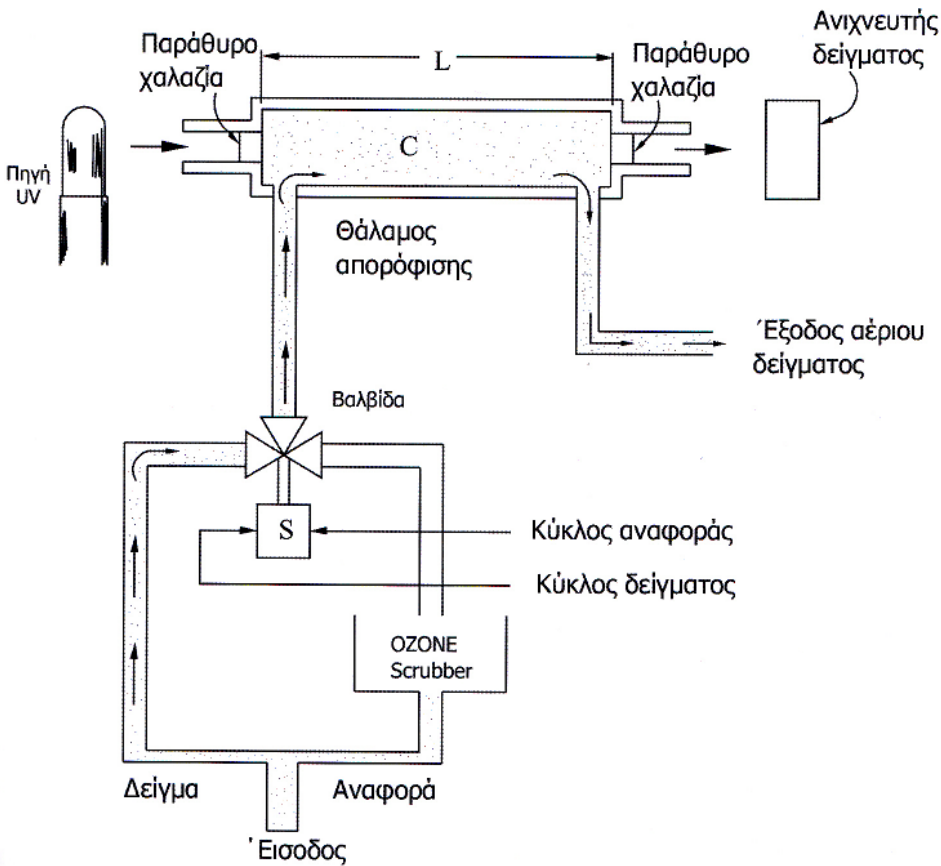
L : Το μήκος της διαδρομής που ακολουθεί η ακτινοβολία εντός του διαλύματος

α : Ειδικός συντελεστής απορρόφησης της ουσίας

C : Η συγκέντρωση της ουσίας που απορροφά, στο διάλυμα



Όζον (O₃)



Η υπεριώδης ακτινοβολία διέρχεται μέσα από το θάλαμο απορρόφησης και εκεί ανιχνεύεται από μια φωτοδίο. Παίρνονται δύο τιμές απορρόφησης. Μια αρχικά από το δείγμα αέρα που δεν περιέχει όζον και μια στη συνέχεια από το δείγμα προς ανάλυση του ατμοσφαιρικού αέρα. Η διαφορά απορρόφησης των δύο δειγμάτων αέρα, καθορίζει την συγκέντρωση του όζοντος στον ατμοσφαιρικό αέρα [5].

Σχήμα 3. block διάγραμμα οπτικού και πνευματικού υποσυστήματος αναλυτή όζοντος [5]



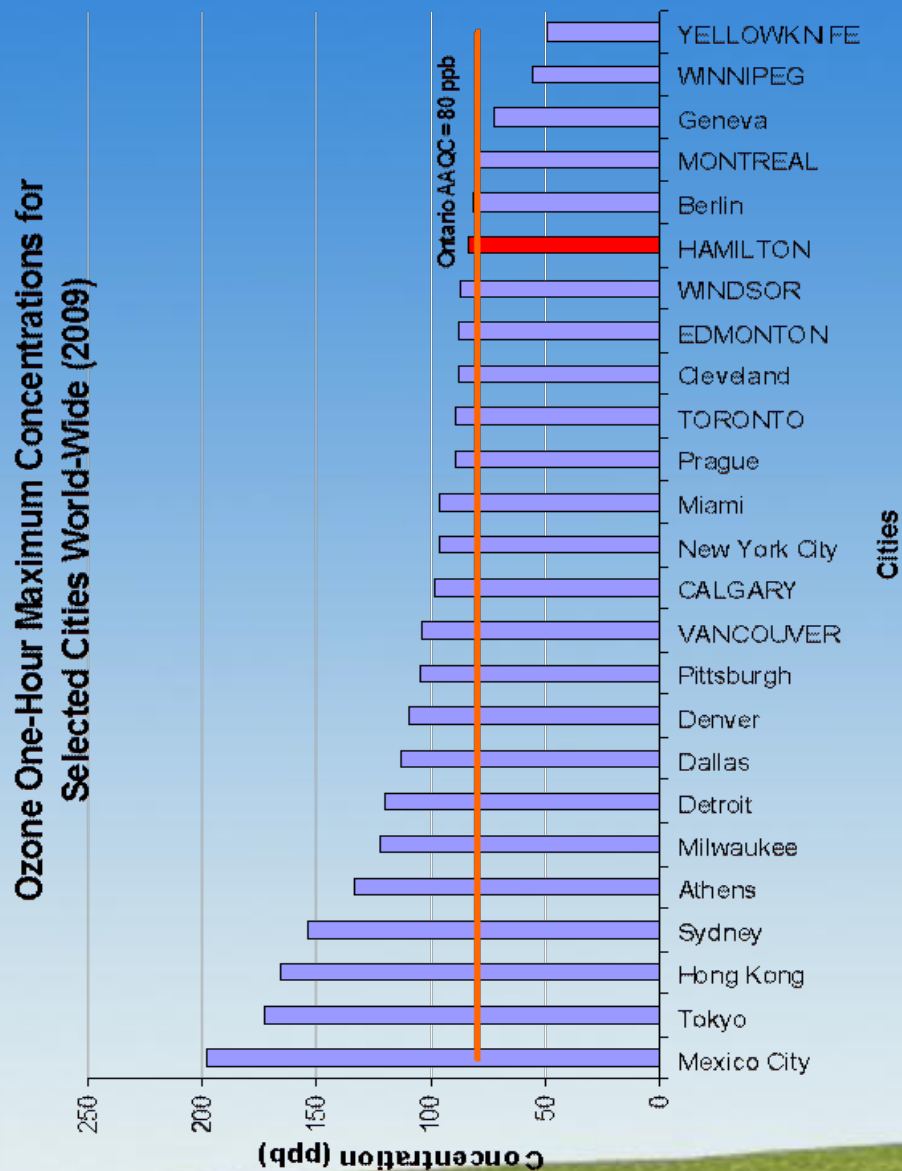
Όζον (O₃)

OZON (O ₃)			
Περίοδος αναφοράς	Οριακή τιμή	Περιθώριο ανοχής	Προθεσμία συμμόρφωσης ως προς την οριακή τιμή
Τιμή στόχος για την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Μέγιστη ημερήσια μέση τιμή 8ωρου	120 μg/m ³ εκ των οποίων δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση για περισσότερες από 25 ημέρες ανά ημερολογιακό έτος και για διάστημα 3 ετών	κανένα	1/1/2010
Τιμή στόχος για την προστασία της βλάστησης AOT40 υπολογισμένο βάσει ωριαίων τιμών από το Μάιο έως και τον Ιούλιο	18000 μg/m ³ h κατά μέσο όρο σε διάστημα 5 ετών	κανένα	1/1/2010
Μακροπρόθεσμος στόχος για την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Μέγιστη μέση ημερήσια τιμή 8ωρου σε διάστημα ενός ημερολογιακού έτους	120 μg/m ³ h	κανένα	2020
Μακροπρόθεσμος στόχος για την προστασία της βλάστησης AOT40 υπολογισμένο βάσει ωριαίων τιμών από το Μάιο έως και τον Ιούλιο	6000 μg/m ³ h	κανένα	2020

Πίνακας 1. Οριακές τιμές και προθεσμίες συμμόρφωσης ως προς τις οριακές τιμές για το όζον (O₃)

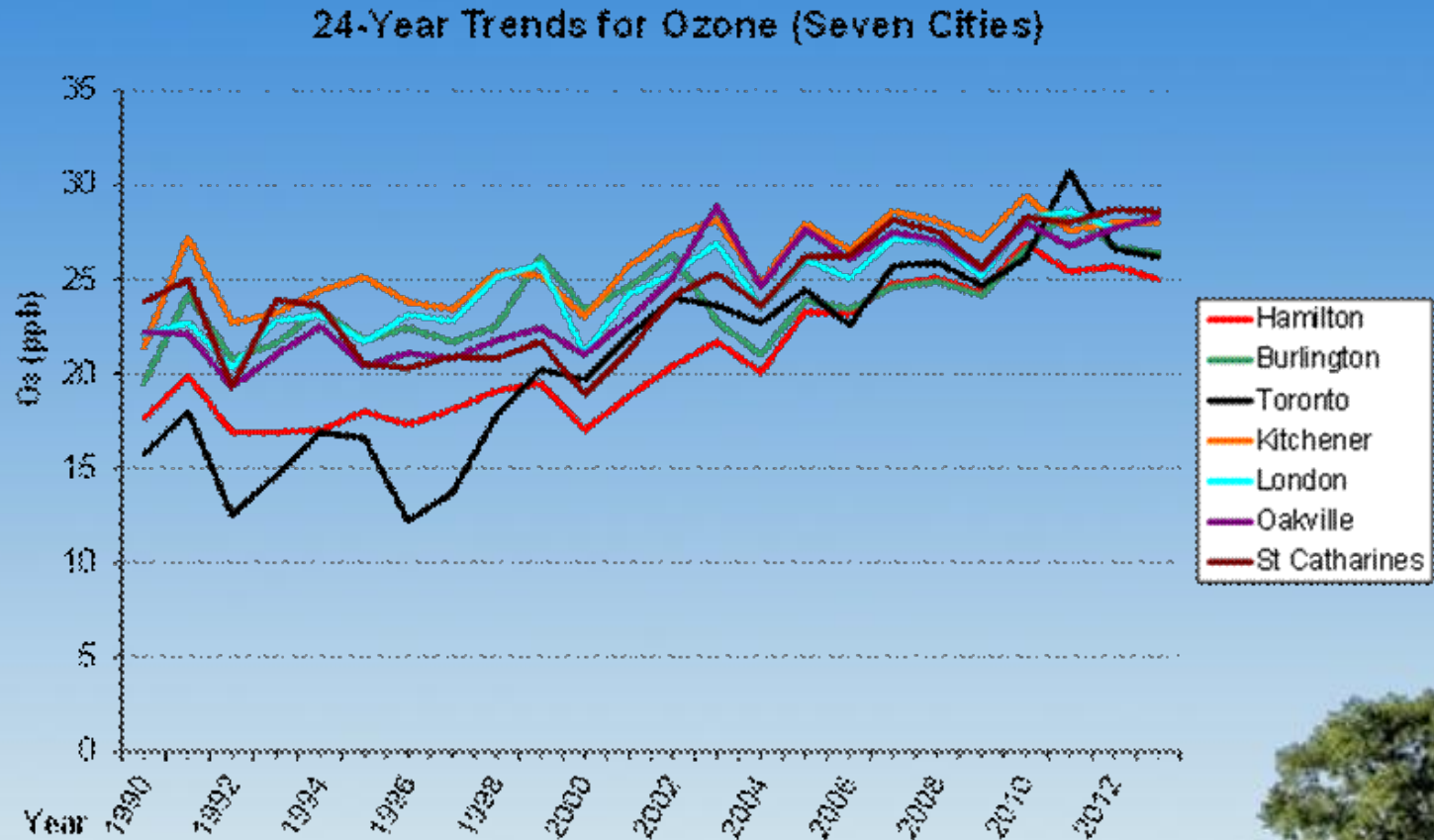


Όζον (O₃)



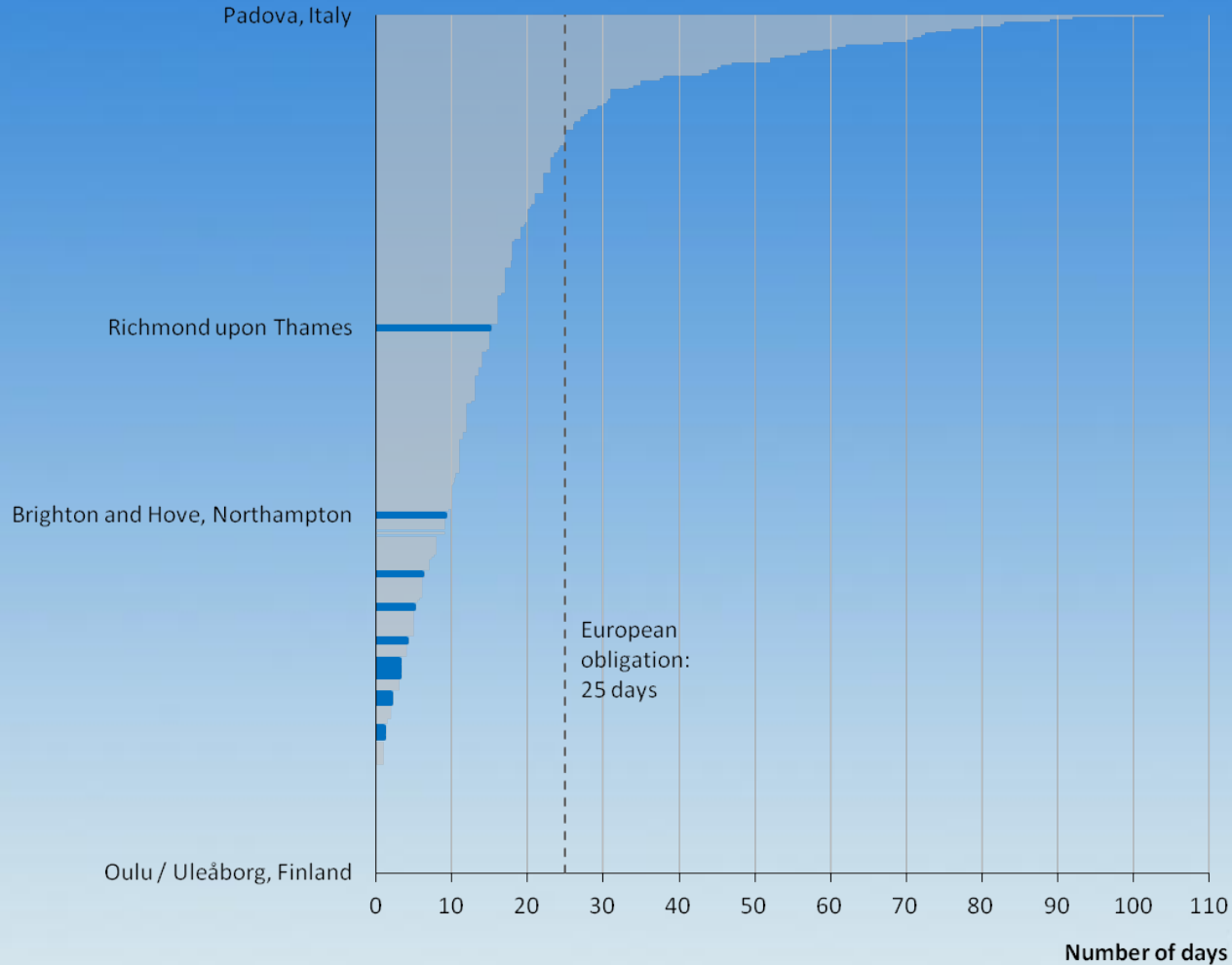
Σχήμα 4. Απολύτως μέγιστες ωριαίες τιμές συγκέντρωσης όζοντος σε επιλεγμένες πόλεις το έτος 2009 [6]

Όζον (O₃)



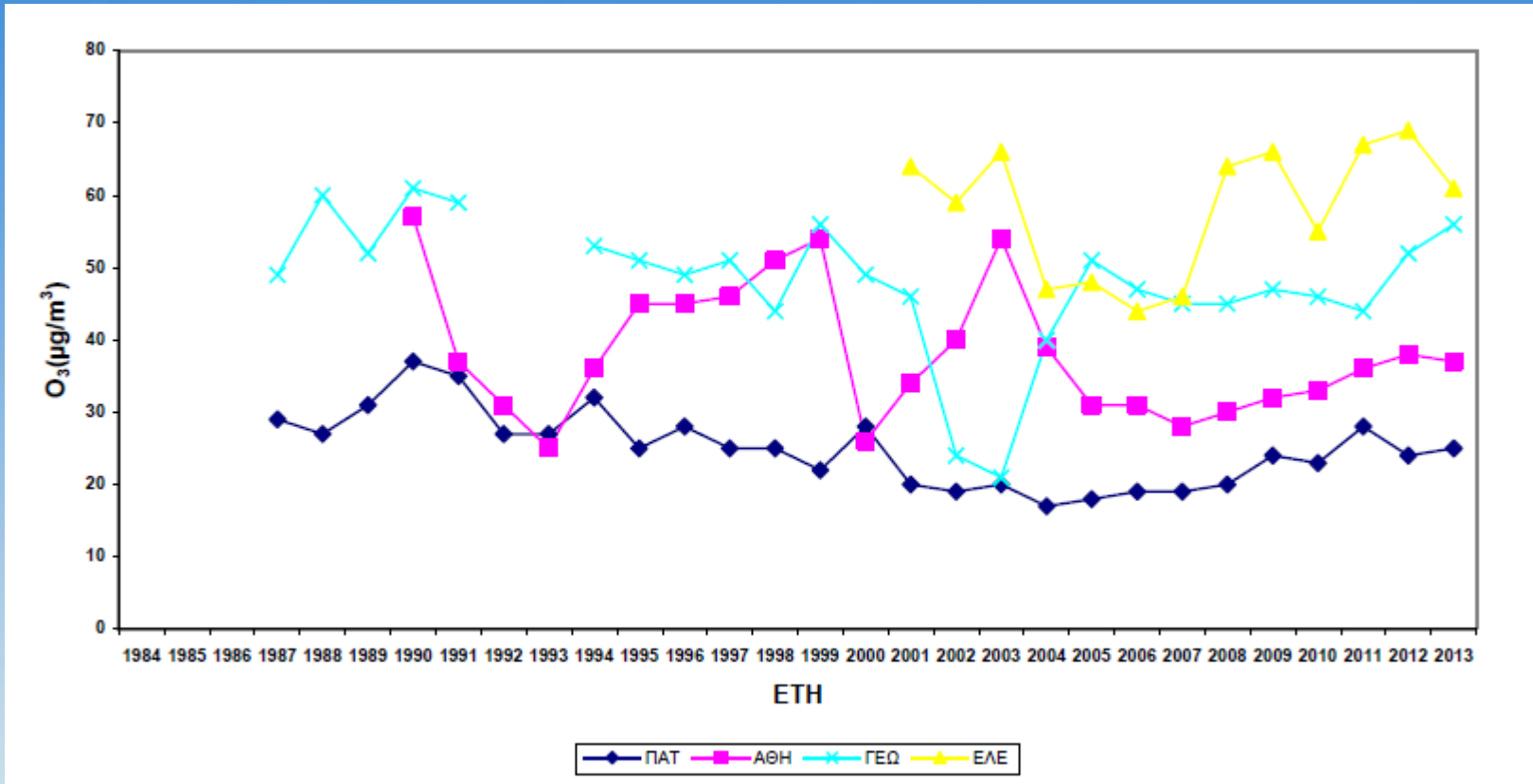
Σχήμα 5. 24 ετών τάσεις των συγκεντρώσεων του όζοντος σε επτά επιλεγμένες πόλεις [6]

Όζον (O₃)



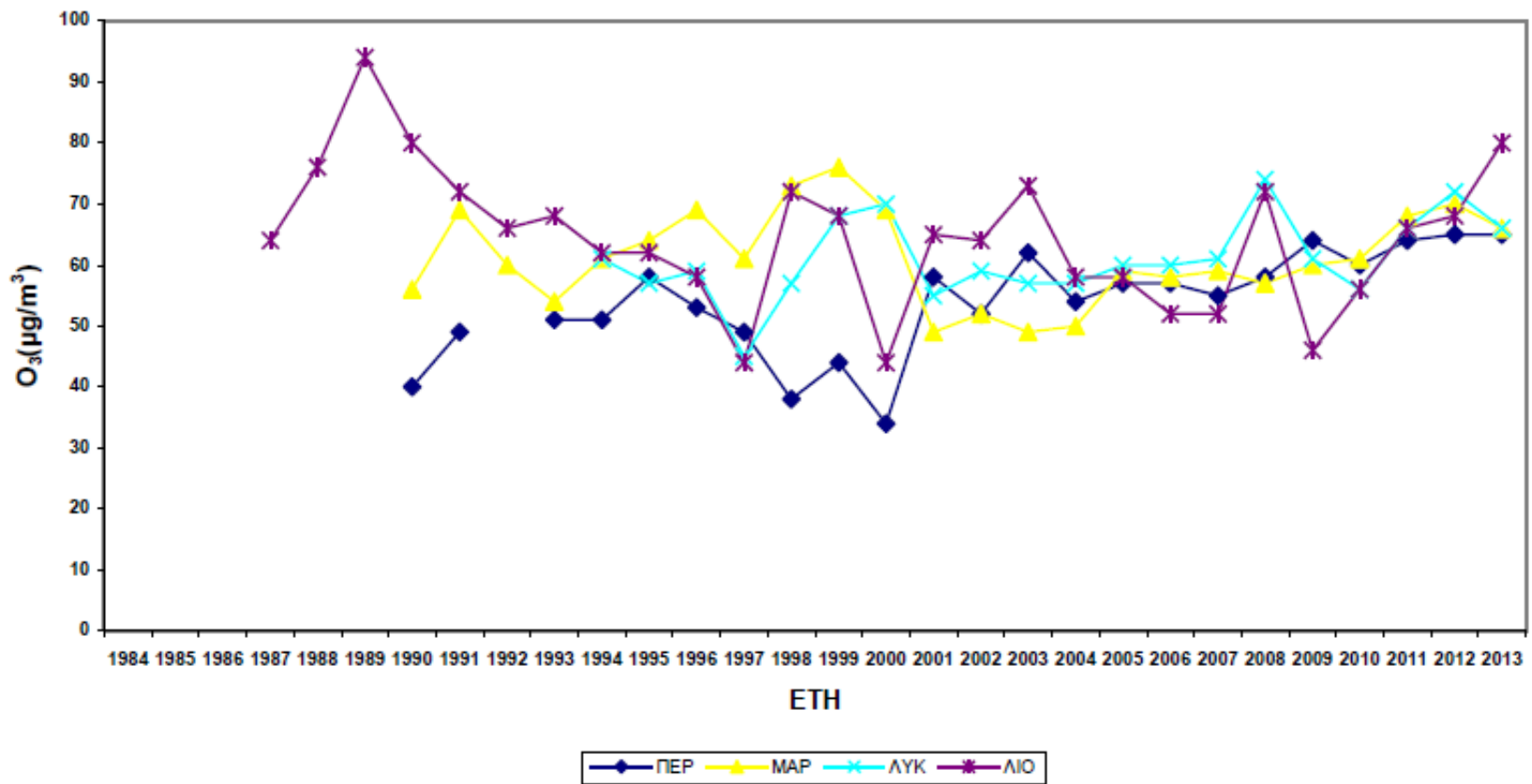
Σχήμα 6. Αριθμός ημερών υπέρβασης της ημερήσιας οριακής τιμής συγκέντρωσης κυλιόμενου οκτώρου για το όζον σε επιλεγμένες ευρωπαϊκές πόλεις και περιοχές το 2011 [7]

Όζον (O₃)



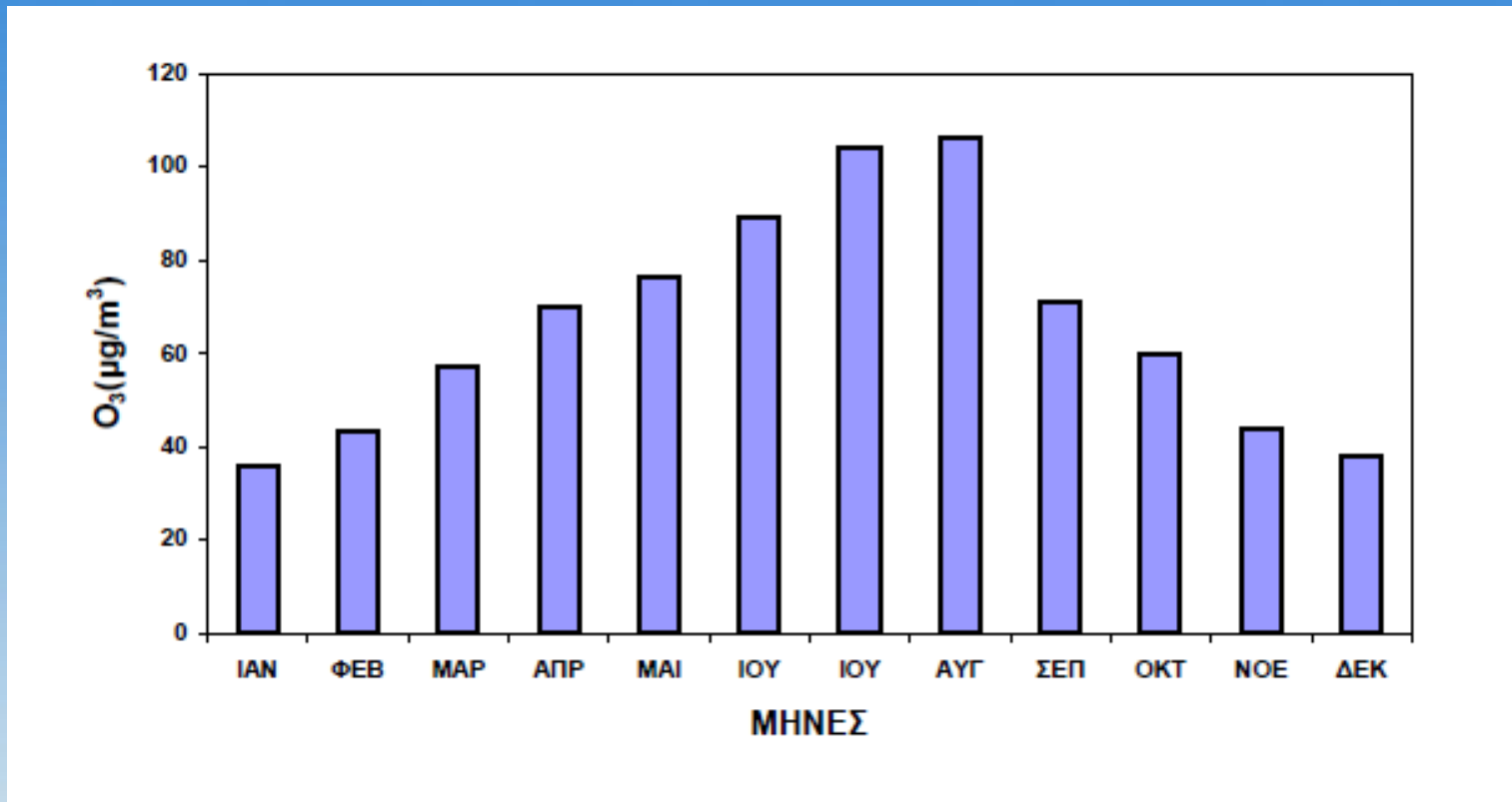
Σχήμα 7. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του όζοντος (O₃) σε διαφορετικές θέσεις εντός της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών. Περίοδος 1984-2013 [8]

Όζον (O₃)



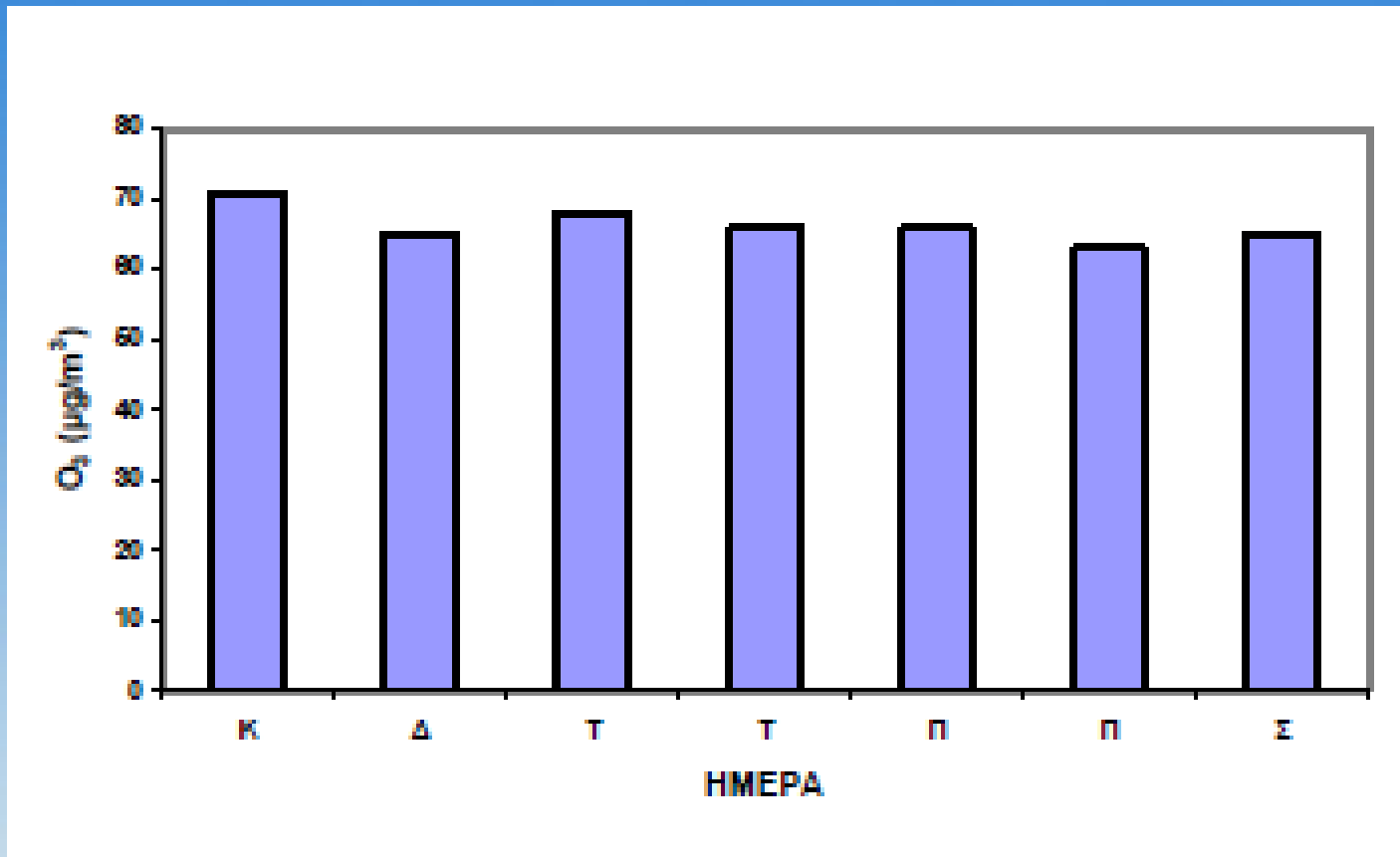
Σχήμα 8. Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών συγκέντρωσης του όζοντος (O₃) σε διαφορετικές θέσεις εντός της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών. Περίοδος 1984-2013 [8]

Όζον (O₃)



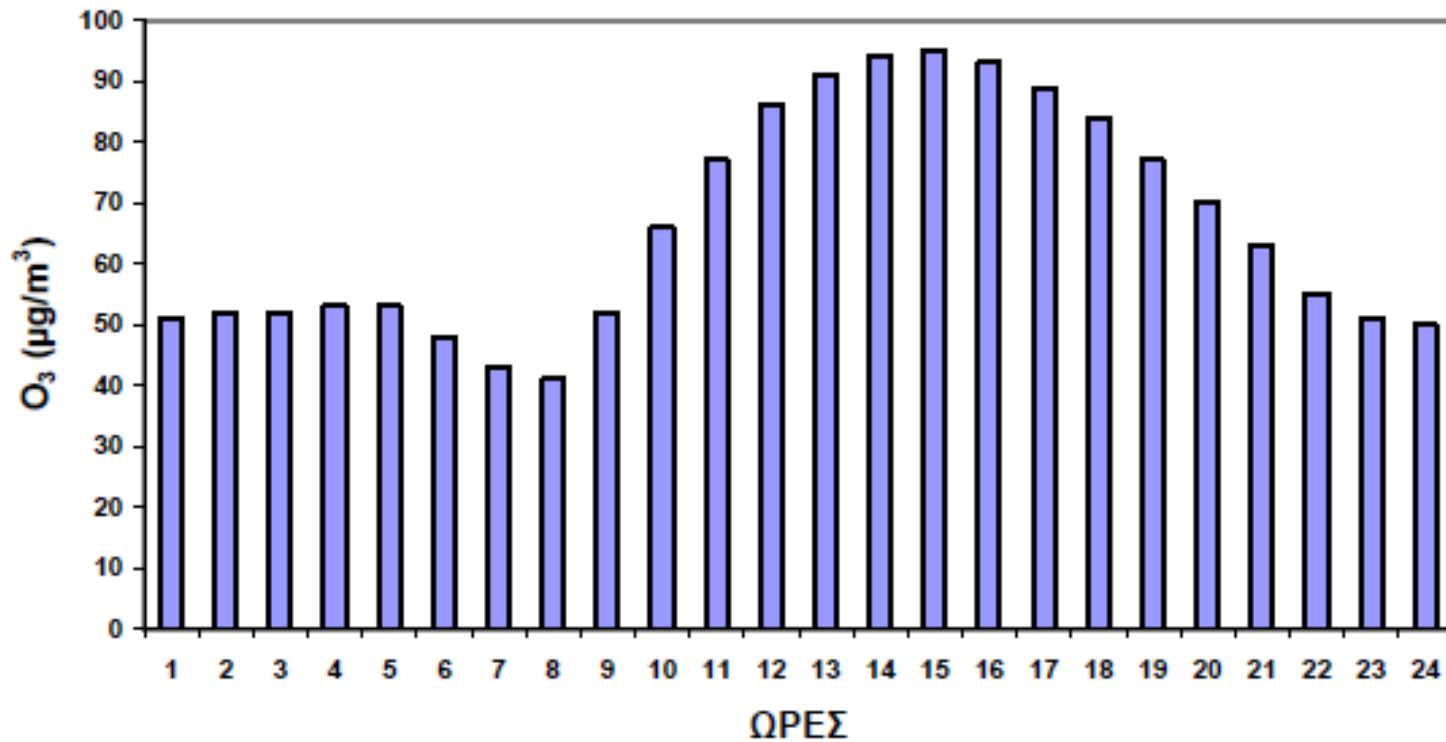
Σχήμα 9. Μέσες μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης O₃ στο σταθμό Λυκόβρυση. Έτος 2013 [8]

Όζον (O₃)



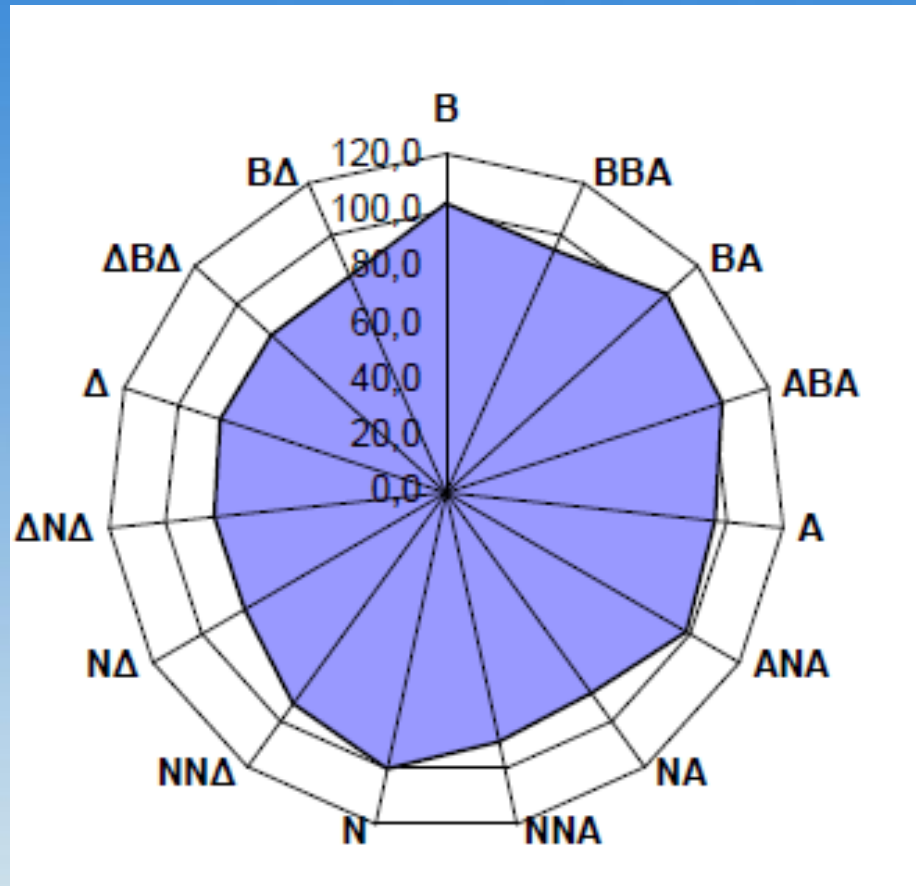
Σχήμα 10. Μέσες ημερήσιες τιμές συγκέντρωσης O₃ στο σταθμό Λυκόβρυση. Έτος 2013 [8]

Όζον (O₃)



Σχήμα 11. Ενδοημερήσια μεταβολή (τυπικό 24ωρο) της συγκέντρωσης O₃ στο σταθμό Λυκόβρυση. Έτος 2013 [8]

Όζον (O₃)



Σχήμα 12. Μέσες τιμές O₃ σε µg/m³ για διαφορετικές διευθύνσεις του ανέμου στο σταθμό Θρακομακεδόνες. Έτος 2013 [8]



- [1] Μουστρής Κ., 2009. Πρόγνωση ποιότητας της ατμόσφαιρας στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών με τη χρήση νευρωνικών δικτύων. Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.
- [2] Βαλαβανίδης Α., Ευσταθίου Κ., 2009. Η χημική ένωση του μήνα. Διαθέσιμο στο: http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_ozone.htm
- [3] Rodolphe Zander, Emmanuel Mahieu, Philippe Demoulin, Francine Mélen, Christian Servais and Pierre Duchatelet. Monitoring of the Variability and Long-term Evolution of Tropospheric Constituents by Infrared Solar Absorption Spectrometry at the Jungfraujoch, Switzerland. A contribution to subproject TROPOSAT, Task Group 4. Institute of Astrophysics and Geophysics - University of Liège (IAGL). Διαθέσιμο στο: http://troposat.iup.uni-heidelberg.de/TROPOSAT-1/ar_2000/zander.htm
- [4] Production, Sales, and Atmospheric Release of Fluorocarbons through 2007. Alternative Fluorocarbons Environment Acceptability Study-AFEAS, 2007. Διαθέσιμο στο: <http://www.afeas.org/overview.php>
- [5] Τριανταφύλλου Α.Γ., 2004. Ατμοσφαιρική Ρύπανση-Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα. Σύγχρονες τεχνικές μέτρησης. Κοζάνη 2004, ISBN: 960-90103-1-8
- [6] Hamilton Air Quality - Trends and Comparisons. Clean Air Hamilton. Διαθέσιμο στο: <http://cleanair.hamilton.ca/default.asp?id=22>
- [7] Urban Audit - Comparing United Kingdom and European towns and cities, 2010–12. Office for National Statistics. Διαθέσιμο στο: <http://www.ons.gov.uk/ons/rel/regional-analysis/urban-audit/comparing-uk-and-european-towns-and-cities--2010-2012/urban-audit-v---comparing-united-kingdom-and-european-towns-and-cities--2010-12.html?format=print>
- [8] Ετήσια Έκθεση Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης, 2013. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Διαθέσιμο στο: <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=klVZNDNL86c%3d&tabid=490&language=el-GR>