

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ-ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ ΦΟΙΤΗΣΗΣ: 2011-2012

ΧΕΙΜΕΡΙΝΟ ΕΞΑΜΗΝΟ

ΤΙΤΛΟΣ ΘΕΜΑΤΟΣ:

## ΜΕΛΕΤΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΑ



ΕΚΠΟΝΗΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΦΟΙΤΗΤΗ:

**ΤΣΑΜΗ ΘΩΜΑ**

(ΑΕΜ: 11979)

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΜΠΑΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2012

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία που αποτελεί το επιστέγασμα των προσπαθειών για την ολοκλήρωση των σπουδών μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή κύριο Μπαλή για την υποστήριξη την καθοδήγηση και την βοήθεια του καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης του θέματος.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η θεματική περιοχή της παρούσας μελέτης σχετίζεται με τη διερεύνηση μιας ιδιαίτερα ενδιαφέρουσας και κρίσιμης πτυχής της ατμόσφαιρας, αυτήν της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι συνιστώσες της πολλές και οι επιπτώσεις της ακόμη περισσότερες. Ιδιαίτερα γόνιμα αποτελέσματα εξάγονται όταν η μελέτη σχετίζεται με ένα πολυπληθυσμιακό και περιβαλλοντικά απειλούμενο πεδίο έρευνας, όπως είναι η Κίνα.

Η συστηματική μελέτη, ο εντοπισμός των κυριότερων παραγόντων που μετέχουν στο πρόβλημα καθώς και η πολυκριτηριακή ανάλυση και αξιολόγηση τους, δύναται να οργανώσουν ένα διαχειριστικό πλαίσιο μελλοντικών βιώσιμων παρεμβάσεων.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία οργανώνεται σε επτά (7) κεφάλαια που αντιπροσωπεύουν και τις θεματικές ενότητες της έρευνας.

Το κεφάλαιο πρώτο, είναι μια εισαγωγή στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Περιγράφεται το φαινόμενο και παρουσιάζονται οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι και οι επιδράσεις τους.

Το δεύτερο κεφάλαιο, αποτελεί ένα εισαγωγικό κεφάλαιο στα θέματα της φασματοσκοπίας, ενώ περιγράφονται τα είδη και οι εφαρμογές της.

Περιγράφονται στη συνέχεια, στο τρίτο κεφάλαιο, τα θέματα της τηλεπισκόπησης, ο ορισμός και οι τρόποι μετρήσεων.

Ακολουθεί μια εκτεταμένη ανάλυση της φασματομετρίας, στο τέταρτο κεφάλαιο, σχετικά με τη μέτρηση των αερίων ρύπων. Αναλύονται τα όργανα που χρησιμοποιούνται, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε ενός και οι εκτιμήσεις των μετρήσεών τους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο προσεγγίζεται η περιοχή μελέτης, αναλύονται τα χαρακτηριστικά της και τεκμηριώνονται οι λόγοι επιλογής της.

Στο, έκτο παρουσιάζονται οι μετρήσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή μελέτης , τα αποτελέσματα των μετρήσεων και εκτιμάται η επίδραση αυτών των μετρήσεων καθώς εξάγονται κάποια καίρια συμπεράσματα από την αριθμητική ανάλυση.

Τέλος στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συνολικά συμπεράσματα της έρευνας..

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	12
1.1. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΓΕΝΙΚΑ .....	12
1.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΥΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ .....	12
1.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ.....	13
1.3.1 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ ( $SO_2$ ) .....	13
ΠΗΓΕΣ .....	14
ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ .....	15
ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ .....	18
Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ.....	19
ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ .....	20
1.3.1. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ( $CO$ ).....	21
ΠΗΓΕΣ .....	21
ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ .....	21
1.3.2. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ( $NO_2$ ).....	22
ΠΗΓΕΣ .....	22
ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ .....	23
1.3.3. ΟΖΟΝ ( $O_3$ ).....	23

ΠΗΓΕΣ .....	23
ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ.....	24
1.3.4. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (PM10).....	24
ΠΗΓΕΣ .....	25
ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ.....	25
1.3.5. ΒΕΝΖΟΛΙΟ.....	25
ΠΗΓΕΣ .....	26
ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ.....	26
1.3.6. ΜΟΛΥΒΔΟΣ (Pb).....	26
ΠΗΓΕΣ .....	27
ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ.....	27
1.4. ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	27
1.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	28
1.6. ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	31
1.7. ΟΖΟΝ ΚΑΙ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ.....	32
1.8. ΝΟ Χ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ.....	33
2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ:ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ.....	34
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	34
2.2. ΕΙΔΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ.....	35
2.3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ.....	36
2.4. ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	36
3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΡΧΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	36
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	36
3.2. ΤΡΟΠΟΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	38
3.3. Η ΑΝΑΓΚΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ.....	39
3.4. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	40

4ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ.....	41
4.1. ENVISAT.....	41
4.2. ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΟ MERIS.....	42
4.3. SCIAMACHY.....	43
4.4. GOME.....	45
4.5. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	47
4.6. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ RAM.....	48
4.7. Η ΜΕΘΟΔΟΣ NRT (Near-Real Time Retrieval).....	50
4.8. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΛΙΝΟΥΣ ΣΤΗΛΗΣ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO <sub>2</sub> ).....	52
4.9. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΠΙΚΛΙΝΟΥΣ ΣΤΗΛΗΣ ΤΟΥ NO <sub>2</sub>	53
4.10. ΕΥΡΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ.....	54
5ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	55
5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	55
5.2. ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	57
5.3. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	58
5.4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ.....	58
5.5. ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	59
5.6. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ.....	60
6ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	60
6.1. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	60
6.2. ΚΙΝΑ ΚΑΙ ΟΛΥΜΠΙΑΚΟΙ ΑΓΩΝΕΣ.....	66
6.3. ΣΥΝΟΨΗ.....	71
7ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΣΥΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	71
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	73
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	77

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Απεικόνιση πιθανών αλληλεπιδράσεων ακτινοβολίας με την ύλη. ....	35
Εικόνα 2: Σχηματική περιγραφή της τηλεπισκόπησης.....	37
Εικόνα 3: Εντάσεις των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων το 2005 και το 2020 (Πηγή: J. Xing et al.: Air pollutant emissions and its impacts on air quality in China).	
Εικόνα 4: Ο πρώτος παγκόσμιος χάρτης όπου δείχνεται η συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου (NO <sub>2</sub> ), από το πρόγραμμα DOMINO-1, όπως παρατηρήθηκε για πρώτη φορά από το ΟΜΙ μεταξύ 25 Σεπτεμβρίου και 15 Νοεμβρίου 2004. ....	40
Εικόνα 5: Χάρτης Κίνας.....	57
Εικόνα 6: Μέσες μηνιαίες τιμές για το μήνα Αύγουστο 2006 του NO <sub>2</sub> όπως προέκυψαν από το ΟΜΙ.....	61
Εικόνα 7: Μέσες μηνιαίες τιμές για το μήνα Αύγουστο 2006 του NO <sub>2</sub> όπως προέκυψαν από το SCIAMACHY.....	62
Εικόνα 8: Χάρτης στο οποίο παρουσιάζεται η πληθυσμιακή πυκνότητα στη Κίνα.....	63

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Παρουσίαση ιδιοτήτων NO <sub>2</sub> .....	34
Πίνακας 2: Βασικά περιγραφικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά φασματόμετρου SCIAMACHY.....	44
Πίνακας 3: Βασικά περιγραφικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά φασματόμετρου GOME.....	46
Πίνακας 4: Μέσες μηνιαίες τιμές για την περιοχή του Πεκίνου (Οκτ.2004-Αύγ.2010). ....	65
Πίνακας 5: Μέσες μηνιαίες τιμές για την περιοχή της Σαγκάης (Οκτ.2004-Αύγ.2010). ....	66

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Διάγραμμα ροής του NRT υποσυστήματος, όπου το επάνω δείχνει την αλληλεπίδραση του υποσυστήματος αυτού με το «forecast/assimilation subsystem». 47	47
Σχήμα 2: Διάγραμμα ροής του NRT υποσυστήματος. Το επάνω μέρος του διαγράμματος είναι η αλληλεπίδραση του υποσυστήματος αυτού με το «forecast/assimilation subsystem»..... 48	48
Σχήμα 3: Διάγραμμα ροής για το «forecast/assimilation subsystem»..... 52	52
Σχήμα 4: Διόρθωση στις μετρήσεις του NO <sub>2</sub> λόγω μεταβολής της τροχιάς κατά τη διάρκεια των παραπάνω μετρήσεων..... 54	54
Σχήμα 5: Στατιστικά σφάλματα των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία της ανάκτησης των δεδομένων, ώστε να εκτιμηθεί το ολικό σφάλμα για κάθε pixel..... 55	55
Σχήμα 6: Χρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου (NO <sub>2</sub> ) της τροπόσφαιρας για τη περιοχή της Ji'an στη Κίνα..... 64	64



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την αξιολόγηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, θα ήταν βέλτιστο σε ένα πρώτο στάδιο, να κατανοηθεί η σύσταση της ατμόσφαιρας και εν συνεχεία να εντοπιστούν οι ρυπογόνοι παράγοντες αυτής.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελεί μίγμα πολλών αερίων, με το μεγαλύτερο ποσοστό σε όγκο να κατέχει το άζωτο (78%) και το οξυγόνο (21%). Εκτός αυτών, υπάρχει το διοξείδιο του άνθρακα, ευγενή αέρια, ίχνη υδρογόνου, όζοντος κλπ. Στην ατμόσφαιρα επίσης αιωρούνται σχεδόν πάντοτε και μόρια κονιορτού, καπνού, άλατος (από τα σταγονίδια των κυμάτων) κλπ., καθώς και μεγάλη επίσης ποσότητα υδρατμών που προέρχεται από την εξάτμιση θαλασσών, λιμνών κλπ.

Το ποσό των υδρατμών αυτών μεταβάλλεται συνεχώς, αφού αυξάνει με την εξάτμιση και ελαττώνεται με τη πτώση ή εναπόθεση ως βροχή ή άλλων μορφών υετού στην επιφάνεια της Γης.

Η μεταβολή αυτή είναι και η κύρια αιτία για τις ευρείες μεταβολές των καιρικών φαινομένων σε έναν τόπο. Βέβαια, σε σύγκριση προς τη συνολική μάζα του αέρος, η εκάστοτε ποσότητα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα είναι πολύ μικρή. Ωστόσο, η σπουδαιότητα της ύπαρξης αυτών των υδρατμών διαφαίνεται από το γεγονός ότι απορροφούν το 11% της ηλιακής ακτινοβολίας ενώ εκλύουν μεγάλη ποσότητα θερμότητας κατά τη συμπύκνωσή τους (αν δεν υπήρχαν, ίσως η ζωή στη Γη να ήταν αδύνατη) .

Για να δημιουργηθούν οι περισσότερες ατμοσφαιρικές διαταράξεις, πηγές των καιρικών φαινομένων, δύο είναι οι κύριοι παράγοντες η θερμότητα και ο υδρατμός. Το γεγονός αυτό συνιστά και τον κύριο λόγο για τον οποίο ο

υδρατμός από μετεωρολογικής άποψης, αποτελεί το σπουδαιότερο συστατικό της γήινης ατμόσφαιρας.

Η ατμόσφαιρα μπορεί και συγκρατεί την υπεριώδη ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος και μέρος από τη κοσμική ακτινοβολία. Είναι αυτή που προκαλεί τους χρωματισμούς του ουρανού και των νεφών, ενώ συγχρόνως αποτελεί το μέσον στη διάδοση του ήχου, αλλά και στη διάχυση του φωτός.

Χωρίς την ύπαρξη της ατμόσφαιρας, ο Ουρανός θα ήταν σκοτεινός, ενώ θα επικρατούσε πλήρης σκότος και οι αστέρες θα έλαμπαν με σταθερό φως νύκτα και μέρα. Επίσης, η διάθλαση, που συντελεί στο φαινόμενο τα ουράνια σώματα να φαίνονται υπερυψωμένα, δεν θα υπήρχε και δεν θα δημιουργούνταν ο αντικατοπτρισμός .

Το ατμοσφαιρικό στρώμα μέχρι τα 80-100 χιλιόμετρα ύψος ονομάζεται ομοιόσφαιρα, καθώς επικρατούν συνθήκες πλήρους μίξης και ο αέρας έχει σταθερό μοριακό βάρος. Πάνω από αυτό το όριο (τυρβόπαυση) υπάρχει η ετερόσφαιρα. Η πυκνότητα εκεί είναι τόσο μικρή που τα μόρια και τα άτομα συγκρούονται λιγότερο συχνά με αποτέλεσμα τα αέρια να διαστρωματώνονται ανάλογα με το μοριακό τους βάρος. Επίσης, ουσίες που φυσιολογικά είναι αντιδραστικές (π.χ. τα ελεύθερα ριζικά) παρουσιάζουν μεγάλους χρόνους παραμονής στην ετερόσφαιρα.

Η κατανομή της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, πίεσης και σύστασης μεταβάλλεται ανάλογα με τις εποχές, την ηλιακή δραστηριότητα και τη μαγνητική δραστηριότητα της γης.

Μολονότι οι τελευταίες αραιότερες παρυφές της ατμόσφαιρας φτάνουν σε ύψος χιλιάδων χιλιομέτρων, το 99% της συνολικής της μάζας περιέχεται σε μία ζώνη από την επιφάνεια της γης (ύψος 0) μέχρι το ύψος των 30 χιλιομέτρων.

Η σύνθεση της ατμόσφαιρας της Γης έχει υποστεί διάφορες αλλαγές από τη στιγμή της δημιουργίας της. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, ιδιαίτερα μετά τον 14ο αιώνα που το κάρβουνο άρχισε να αντικαθιστά το ξύλο ως κύρια πηγή ενέργειας, έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι διάφοροι ρύποι που εκλύθηκαν στην ατμόσφαιρα, δημιούργησαν ανθυγιεινές συνθήκες και μερικές φορές προκάλεσαν και θανάτους (όπως κατά τη διάρκεια του γνωστού επεισοδίου του Λονδίνου το 1952). Εκτός από τις άμεσες (βραχυπρόθεσμες) επιπτώσεις των επεισοδίων ρύπανσης, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι έχουν και πολύ σοβαρές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις, οι οποίες είναι πολύ δύσκολο να προβλεφθούν.

Η εργασία αυτή, με τη βοήθεια δορυφορικών μετρήσεων του  $\text{NO}_2$  και  $\text{SO}_2$  στην τροπόσφαιρα από το όργανο ΟΜΙ, καλείται να ανιχνεύσει εκτός των άλλων και εάν και κατά πόσο οι δορυφορικές μετρήσεις συνάδουν με την οικονομική ανάπτυξη της περιοχής μελέτης και σε ποιο βαθμό καταδεικνύουν το υφιστάμενο πρόβλημα.

## 1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

### 1.1. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΓΕΝΙΚΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται μια εισαγωγή στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με την παρουσίαση των κυριότερων ρύπων.

Ατμοσφαιρική ρύπανση καλείται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων σε τέτοια ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια, που έχουν ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της δομής, της σύστασης και των χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και τα οικοσυστήματα και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.

### 1.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΥΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥΣ ΡΥΠΟΥΣ

Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι:

- Το Διοξείδιο του Θείου ( $SO_2$ )
- Το Μονοξείδιο του Άνθρακα ( $CO$ )
- Το Διοξείδιο του Αζώτου ( $NO_2$ )
- Το Όζον ( $O_3$ )
- Τα Αιωρούμενα Σωματίδια ( $PM_{10}$ )
- Το Βενζόλιο ( $C_6H_6$ )
- Ο Μόλυβδος ( $Pb$ )

### 1.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΤΩΝ

#### 1.3.1 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ ( $SO_2$ )

Είναι αέριο άχρωμο, άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική μυρωδιά σε πολύ ψηλές συγκεντρώσεις. Το διοξείδιο του θείου είναι ανόργανη χημική ένωση με τύπο  $SO_2$ . Είναι αέριο με οσμή «καιόμενου θείου», και αποτελεί το κυριότερο προϊόν της καύσεως ουσιών που περιέχουν θείο (γεγονός με ιδιαίτερη περιβαλλοντική σημασία) . Το διοξείδιο του θείου απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κατά τις εκρήξεις των ηφαιστείων και σε μικρότερες ποσότητες από διάφορες βιομηχανίες και την καύση ορυκτών καυσίμων. Επειδή οι γαϊάνθρακες(κάρβουνο) και το πετρέλαιο περιέχουν ενώσεις του θείου, αναπόφευκτα η καύση τους εκλύει διοξείδιο του θείου. Με την παρουσία υγρασίας και περισσότερο κάποιου καταλύτη όπως το διοξείδιο του αζώτου, το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται παραπέρα σε τριοξείδιο του θείου (το οποίο διαλυόμενο στο νερό δίνει θειικό οξύ), γεγονός που όταν συντελείται στην ατμόσφαιρα οδηγεί στο φαινόμενο δημιουργίας της όξινης βροχής.

Το διοξείδιο του θείου μαζί με τα αιωρούμενα σωματίδια, το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, τα οξείδια του αζώτου και το όζον, αποτελεί έναν από τους δείκτες της μέσης ποιότητας του αέρα και μακράν την κυριότερη πηγή θείου στη ατμόσφαιρα. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές του διοξειδίου του θείου και κατ' επέκταση του θείου, έχουν φτάσει σε σημείο να ανταγωνίζονται την ίδια τη φύση. Οι εκπομπές του στην ατμόσφαιρα έχουν μειωθεί δραματικά στην Ευρώπη και στη Βόρεια Αμερική εξαιτίας της

νομοθεσίας την τελευταία δεκαπενταετία, σε αντίθεση με τις διαρκώς αναπτυσσόμενες οικονομίες της Ασίας όπως αυτήν της Κίνας. Ιδιαίτερη δε σημασία, παρουσιάζει η εισαγωγή του στην ατμόσφαιρα από ηφαιστειακή δραστηριότητα, κυρίως από μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις.

## ΠΗΓΕΣ

Κυριότερες πηγές προέλευσης του διοξειδίου του θείου είναι οι ηλεκτροπαραγωγοί σταθμοί, οι χημικές βιομηχανίες, τα διυλιστήρια πετρελαίου, οι κεντρικές θερμάνσεις και τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν καύσιμο με ψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Οι πηγές του διοξειδίου του θείου χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις φυσικές και τις ανθρωπογενείς. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές σήμερα και παρά την ελάττωση της τελευταίας δεκαπενταετίας στον δυτικό κόσμο, γενικά ανταγωνίζονται σε παγκόσμιο επίπεδο τις φυσικές. Ο προσδιορισμός των εκπομπών των φυσικών θειικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα παρουσιάζει μεγάλη δυσκολία, λόγω των πολλών, περίπλοκων, φυσικών και χημικών διεργασιών που προηγούνται και ακολουθούν των εκπομπών. Οι περισσότεροι επιστήμονες, γενικά θεωρούν ότι οι ανθρωπογενείς εκπομπές θείου δεν είναι πολύ μεγαλύτερες από τις φυσικές (Jorgensen & Hansen, 1985) και (Andreae & Jaeschke, 1992).

Παρόλα αυτά, η θέσπιση και εφαρμογή κατάλληλης περιβαλλοντικής νομοθεσίας δύναται να μειώσει σημαντικά τις ρυπογόνες πηγές της ατμόσφαιρας, περιορίζοντας στο ελάχιστο τις ανθρωπογενείς εκπομπές του θείου.

## ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Οι φυσικές πηγές διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα είναι τριών ειδών: γεωθερμικές, θαλάσσια υδροσταγονίδια και βιολογικές. Μιλώντας για γεωθερμικές πηγές αναφέρεται κανείς σε κάποιες περιορισμένες ηπειρωτικές πηγές θείου και κυρίως στην ηφαιστειακή δράση. Τα ηφαίστεια εκπέμπουν αέρια τόσο κατά την παθητική τους φάση (μη-εκρηκτική) όσο και κατά την εκρηκτική τους. Κατά κύριο λόγο εκπέμπουν διοξείδιο του θείου. Άλλες θειικές ενώσεις που εκπέμπονται είναι το υδρόθειο ( $H_2S$ ), με εκπομπές μιας τάξης μεγέθους κάτω από του διοξειδίου του θείου και θειικές ρίζες, οι οποίες είναι αμελητέες σε σχέση με το ποσό του διοξειδίου του θείου (Kellogg et al., 1972). Το 1976, ο Crutzen θεώρησε ότι από τις ηφαιστειακές εκρήξεις εκλύεται και θειούχο καρβονύλιο (Carbonyl Sulfide-OCS), γεγονός που βοήθησε σημαντικά τις σχετικές έρευνες. Τα αποτελέσματα των επιστημόνων συμφωνούν όσον αφορά την μέση εκπομπή διοξειδίου του θείου από ηφαιστειακή δραστηριότητα στην ατμόσφαιρα. Οι Bergesheim και Jaeschke το 1983 υπολόγισαν ότι εκπέμπονται κατά μέσο όρο ετησίως 15.2 TgS διοξειδίου του θείου σε παγκόσμια κλίμακα, με παράλληλη εκπομπή περίπου 0.1 TgS/y  $H_2S$  και 1 TgS/y θειικών ριζών (1 Tg ισούται με 10<sup>12</sup> grams). Το ετησίως εκπεμπόμενο OCS από ηφαίστεια εκτιμάται περίπου στα 0.02 TgS/y (WMO, 1985). Οι Andres και Kasgnoc (1998) μετά από 25 χρόνια μετρήσεων θειικών ενώσεων σε ηφαίστεια, κατέληξαν σε μια μέση ροή διοξειδίου του θείου κατά την παθητική φάση των ηφαιστείων είναι ίση με 9 TgS/y και μια μέση ροή κατά την εκρηκτική φάση είναι ίση με 4 TgS/y. Συνεπώς η συνολική ροή εκτιμήθηκε στα

13 TgS/y. Μετρήσεις κατά τη διάρκεια ηφαιστειακών εκρήξεων από το όργανο TOMS στον δορυφόρο Nimbus 7 έδειξαν ότι η μέση ροή του διοξειδίου του θείου είναι 4 TgS/y κατά την εκρηκτική φάση. Οπότε θεωρείται με σχετική ασφάλεια ότι η συνολική ροή ισούται με 13 TgS/y (Bluth et al., 1993). Η εκπομπή διοξειδίου του θείου από ηφαίστεια θεωρείται πολύ σημαντική τόσο λόγω της εισόδου του αερίου στην στρατόσφαιρα εξαιτίας του μεγάλου ύψους στο οποίο εκτοξεύεται κατά τις μεγάλες εκρήξεις όσο και λόγω της ατμοσφαιρικής μεταφοράς.

Τα θαλάσσια υδροσταγονίδια εξατμίζονται και σχηματίζουν πάνω από την θάλασσα μικρά σωματίδια. Τα σωματίδια αυτά αποτελούνται από ιόντα  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  και  $2 \text{SO}_4^-$ . Το ποσό των θειικών ριζών που εκλύεται με αυτόν τον τρόπο στην ατμόσφαιρα υπολογίστηκε περίπου στα 44 TgS/y (Kellogg et al., 1972; Friend, 1973; Granat, 1976). Το μεγαλύτερο ποσοστό από αυτό επιστρέφει στη θάλασσα ενώ μόνο το 10% μεταφέρεται κι εναποτίθεται στην ξηρά.

Οι βιολογικώς εκπεμπόμενες θειικές ενώσεις αποτελούν την κυριότερη πηγή φυσικώς παραγόμενου θείου στην ατμόσφαιρα. Οι εκτιμήσεις του ετησίως παραγόμενου ποσού παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές, λόγω της ποικιλίας των επιφανειών και των κλιματικών συνθηκών. Οι βιολογικές εκπομπές περιλαμβάνουν δύο κύριες διαδικασίες, την αποσύνθεση των οργανικών θειικών ενώσεων από μικροοργανισμούς, μικρόβια και φύκια, σε αερόβιο ή αναερόβιο περιβάλλον και την μετατροπή του θείου από συγκεκριμένα μικρόβια σε αποκλειστικά αναερόβιο περιβάλλον. Και οι δύο διαδικασίες απαιτούν την παρουσία οργανικής ύλης και υγρασίας. Ετησίως υπολογίστηκε ότι εκπέμπονται βιολογικώς 35-280 TgS/y. Από αυτά τα 5-110 TgS/y εκπέμπονται από την ξηρά και τα 30-170 TgS/y από την θάλασσα (Kellogg et al., 1972; Friend,



1973; Nriagu, 1978; Cullis & Hirschler, 1980; Aneja, 1982; Möller, 1984; Seinfeld, 1986). Οι βιολογικώς εκπεμπόμενες θειικές ενώσεις είναι το υδρόθειο ( $H_2S$ ), το διμεθυλοσουλφοξείδιο ( $DMS$ ), το θειούχο καρβονύλιο ( $OCS$ ) και ο διθειάνθρακας ( $CS_2$ ). Το  $H_2S$  και το  $DMS$  αποτελούν έμμεσες πηγές διοξειδίου του θείου, καθώς το μεν πρώτο αντιδρά πολύ γρήγορα με την  $OH$  ρίζα δίδοντας μετά από οξείδωση διοξείδιο του θείου (Spedding & Core, 1984; Campbell, 1986) και το δεύτερο επίσης με την ρίζα  $OH$ , δίδοντας  $SO_2$ ,  $2 SO_4$  - και μεθανοσουλφονικό οξύ ( $MSA$ ) (Hatakeyama et al., 1985; Campbell, 1986). Το  $OCS$  αποτελεί την πιο διαδεδομένη θειική ένωση λόγω της αδράνειας που παρουσιάζει και του αντίστοιχα μεγάλου χρόνου ζωής (1-2 χρόνια) (Seinfeld & Pandis, 1998). Για τους λόγους αυτούς το  $OCS$  μεταφέρεται με μεγάλη ευχέρεια στη στρατόσφαιρα, είτε από ισχυρές ηφαιστειακές εκρήξεις, είτε από τις ισχυρές ανοδικές κινήσεις στο κύτταρο Hadley των τροπικών, είτε από διεργασίες μεταφοράς και διάχυσης από τους ατμοσφαιρικούς στροβίλους. Ο  $CS_2$  είναι κι αυτός σχετικά αδρανής, με χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα 5-65 μέρες. Το  $OCS$  μετά από υδρόλυση ή αντίδραση με τη ρίζα του  $OH$  ή φωτοδιάσπαση και ο  $CS_2$  μετά από φωτοοξείδωση ή αντίδραση με την  $OH$  ρίζα, δίδουν  $SO_2$  και θειικές ρίζες.

Γενικά, οι ετήσιες εκπομπές θειικών ενώσεων από φυσικές πηγές εκτιμούνται γύρω από μια μέση τιμή  $70 TgS/y$  με πλάτος  $\pm 40 TgS/y$  (Jorgensen & Hansen, 1985). Μια άλλη εκτίμηση είναι  $65 \pm 25 TgS/y$  (Andreae & Jaeschke, 1992) χωρίς να περιλαμβάνονται οι εκπομπές θαλάσσιων θειικών αλάτων.

## ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

Οι κυριότερες ανθρωπογενείς διαδικασίες παραγωγής διοξειδίου του θείου και άλλων θειικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα είναι: η κατανάλωση καυσίμων ( άνθρακα και πετρελαίου ) η διύλιση πετρελαίου, η επεξεργασία μη-σιδηρούχων ορυκτών (Cu, Pb, Zn θειικών μετάλλων), η καύση ξύλου και η παραγωγή H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Το διοξείδιο του θείου είναι το κύριο αέριο που εκπέμπεται από τις παραπάνω διαδικασίες. Μερικές από αυτές, όπως η επεξεργασία φυσικών αερίων, η επεξεργασία χαρτιού, η διύλιση πετρελαίου, αποδίδουν στην ατμόσφαιρα H<sub>2</sub>S, CS<sub>2</sub> και OCS σε ποσότητες όμως αμελητέες σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα. Οι εκπομπές του συνολικά παραγόμενου διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα, δεκαπλασιάστηκαν με βάση τις έρευνες, από το 1890 έως το 1990, φτάνοντας από τα 9.3 TgS/γ στα 90 TgS/γ περίπου. Οι εκπομπές διοξειδίου του θείου σε παγκόσμια κλίμακα φαίνεται να έφτασαν σε μια μέγιστη τιμή τη δεκαετία του 80 κι έπειτα να ελαττώθηκαν μέχρι σήμερα (Smith et al., 2004). Για το 1990 εκτιμήσεις δίνουν ολικές ανθρωπογενείς εκπομπές διοξειδίου του θείου 65-90 TgS (Houghton et al., 1995, Benkovitz et al., 1996, Olivier et al., 1996, WMO, 1997). Μια άλλη τιμή που προτείνεται από αναθεώρηση πιο πρόσφατων ερευνών (Smith et al., 2001; Grübler, 1998) είναι τα 75±10 TgS. Οι Andreae και Jaeschke (1992) προτείνουν μια μέση τιμή 93±15 TgS/γ. Γενικά πάντως και σύμφωνα με την αναφορά του IPCC (Special Report on Emissions Scenarios, 2000) εκτιμάται ότι για στο 2000 αντιστοιχεί μια μέση τιμή της τάξεως των 70 TgS. Η κατανομή των ανθρωπογενών εκπομπών διοξειδίου του θείου σε παγκόσμια κλίμακα δεν είναι ομοιόμορφη. Ο κύριος όγκος τους εντοπίζεται στο βόρειο

ημισφαίριο του πλανήτη (Andres & Kasgnoc, 1998). Υπολογίζεται μάλιστα ότι το 90% των ανθρωπογενών θειικών εκπομπών προέρχεται από το βόρειο ημισφαίριο, ενώ αντίθετα οι φυσικές εκπομπές είναι ομαλότερα κατανεμημένες στα δύο ημισφαίρια (Bates et al., 1992).

## Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ

Η μελέτη του διοξειδίου του θείου παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον τόσο στην τροπόσφαιρα και ιδιαίτερα στο οριακό στρώμα όσο και στην στρατόσφαιρα. Οι ποσότητες του διοξειδίου του θείου που συναντούνται σε χαμηλά ύψη κοντά στην επιφάνεια της γης, επηρεάζουν άμεσα την ανθρώπινη υγεία, οδηγώντας όταν είναι σε υψηλές συγκεντρώσεις σε αναπνευστικά προβλήματα και την υπανάπτυξη των φυτών. Το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται στην τροπόσφαιρα δίδοντας θειικό οξύ, το οποίο πέφτει με την λεγόμενη όξινη βροχή και είναι υπαίτιος για την ρύπανση του εδάφους και την υποβάθμιση των μαρμάρινων μνημείων και των λοιπών κτιρίων (Six Common Air Pollutants, έκθεση της αμερικανικής EPA-Environmental Protection Agency, 2000). Επιπλέον το διοξείδιο του θείου εμπλέκεται στην φυσική των νεφών, οδηγώντας σε νέφη με μεγαλύτερη ανακλαστικότητα. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εισαγωγή διοξειδίου του θείου στην τροπόσφαιρα και κυρίως στην στρατόσφαιρα από τις ηφαιστειακές εκρήξεις. Στην στρατόσφαιρα το διοξείδιο του θείου οξειδώνεται με  $\text{OH}$  και σε συνδυασμό με  $\text{H}_2\text{O}$  δίδει αιωρούμενα σωματίδια θειικού οξέος. Τα σωματίδια αυτά σκεδάζουν την ακτινοβολία του ηλίου και απορροφούν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γη. Με αυτόν τον τρόπο οδηγούν στη θέρμανση της στρατόσφαιρας και την

ψύξη της τροπόσφαιρας. Στη στρατόσφαιρα τα αιωρούμενα σωματίδια παρουσιάζουν μεγάλους χρόνους ζωής, μερικών ετών και μεταφέρονται από την στρατοσφαιρική κυκλοφορία σε όλη την ατμόσφαιρα. Η μείωση των εκπομπών θειικών ενώσεων που έχει παρατηρηθεί την τελευταία δεκαπενταετία στον ανεπτυγμένο δυτικό κόσμο δημιούργησε την εντύπωση ότι η ρύπανση από διοξείδιο του θείου αποτελεί ένα πρόβλημα του κοντινού παρελθόντος, το οποίο όμως έχει λυθεί. Η συνεχώς αναπτυσσόμενη οικονομία της Κίνας τα τελευταία χρόνια με την εκκολαπτόμενη αστική τάξη των 300 εκατομμυρίων και οι διαρκείς πολιτικοοικονομικές αλλαγές φαίνεται να επαναφέρουν το πρόβλημα στο προσκήνιο. Η ραγδαία ανάπτυξη της Κίνας και της κεντρικής Ασίας γενικότερα, οδηγούν σε ολοένα και μεγαλύτερη ζήτηση για ενέργεια και κατά συνέπεια παραγωγή διοξειδίου του θείου. Από την άλλη οι δύο μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις του περασμένου αιώνα (El Chichón, 1982) και (Pinatubo, 1991) έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων κι έδωσαν μεγάλη ώθηση στην μελέτη των εκπομπών διοξειδίου του θείου από ηφαιστειακή δραστηριότητα, καθώς τα ηφαίστεια αποτελούν έναν αστάθμητο παράγοντα

## ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Μακροχρόνια έκθεση στο διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, να τροποποιήσει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιαγγειακές παθήσεις. Άτομα με καρδιαγγειακές, χρόνιες πνευμονολογικές παθήσεις καθώς και μικρά παιδιά και ηλικιωμένοι είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε τέτοιες συνθήκες.

Υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα συμβάλλουν επίσης στη μείωση της ορατότητας, στην αύξηση της οξύτητας των λιμνών και των ποταμών και προκαλούν αλλοιώσεις στη βλάστηση και στα μέταλλα.

### 1.3.1. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι αέριο άοσμο, άχρωμο, άγευστο και ελαφρύτερο του αέρα. Είναι ο πλέον ευρέως διαδεδομένος ρύπος.

#### ΠΗΓΕΣ

Κυριότερες πηγές προέλευσης του μονοξειδίου του άνθρακα είναι οι εξατμίσεις αυτοκινήτων, ιδιαίτερα σε κλειστούς χώρους στάθμευσης ή κατά μήκος δρόμων σε περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής, και οι εξατμίσεις πάσης φύσεως μηχανών όταν συντελείται ατελής καύση. Άλλες πηγές είναι το καπάλισμα των χωραφιών και η καύση ελαστικών σε ανοικτούς χώρους.

#### ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Το μονοξείδιο του άνθρακα μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο σε βασικούς ιστούς του οργανισμού, επιδρώντας κυρίως στο καρδιαγγειακό και νευρικό σύστημα.

Υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα προκαλούν ζαλάδες, πονοκεφάλους και κόπωση.

Υγιή άτομα εκτεθειμένα σε ψηλά επίπεδα, μπορεί να υποστούν προσωρινή μείωση της πνευματική τους διαύγειας καθώς και της όρασης τους.

### 1.3.2. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO<sub>2</sub>)

Είναι αέριο με καφέ χρώμα, διαλυτό στο νερό, ισχυρό οξειδωτικό, με οξεία ερεθιστική οσμή. Εμπλέκεται και ενεργοποιεί τον φωτοχημικό κύκλο αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα και το σχηματισμό έτσι της φωτοχημικής ρύπανσης. Σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι υπεύθυνο για την καφέ όψη του αστικού ουρανού.

#### ΠΗΓΕΣ

Η καύση ορυκτών καυσίμων κυρίως σε αυτοκίνητα, σε ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς και κεντρικές θερμάνσεις παράγουν μεταξύ άλλων και μονοξείδιο του αζώτου (NO). Αυτό με διάφορες χημικές αντιδράσεις που ενισχύονται με την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας και του όζοντος, μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>).

## ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Το διοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα, ιδιαίτερα σε άτομα που υποφέρουν από άσθμα και σε παιδιά. Στους ασθματικούς προκαλεί δυσκολία στην αναπνοή. Συνδράμει επίσης στη δημιουργία του όζοντος στην τροπόσφαιρα και της όξινης βροχής, επηρεάζοντας έτσι αρνητικά τη βλάστηση.

### 1.3.3. ΟΖΟΝ ( $\text{O}_3$ )

Το όζον είναι αέριο άχρωμο, βαρύτερο του αέρα με δριμεία οσμή. Είναι ισχυρότατο οξειδωτικό. Διαλύεται δύσκολα στο νερό γι' αυτό και μπορεί να δεισδύσει μέχρι τους πνεύμονες με όλες τις αρνητικές συνέπειες για την υγεία των ανθρώπων. Στην ανώτερη ατμόσφαιρα (στρατόσφαιρα) το όζον έχει ευεργετικό ρόλο γιατί απορροφά τις υπεριώδεις ακτινοβολίες (UV), προστατεύοντας μας έτσι από τις βλαβερές ακτίνες του ήλιου.

## ΠΗΓΕΣ

Το όζον σχηματίζεται στην κατώτερη ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα) ως αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων μεταξύ του οξυγόνου, πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs), και οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας.

Πηγές εκπομπής πρόδρομων ουσιών του όζοντος (VOCs και NOx) είναι τα οχήματα, τα χημικά εργοστάσια, τα χημικά διαλυτικά και τα βενζινάδικα.

## ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Το όζον σε ψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να ερεθίσει το αναπνευστικό σύστημα, προκαλώντας βήχα, αίσθημα ξηρότητας στο λαιμό και πόνο στο στήθος, φλεγμονή στους πνεύμονες και πιθανή επιδεκτικότητα σε μολύνσεις του αναπνευστικού.

Η υγεία των ατόμων που υποφέρουν από άσθμα μπορεί να επιδεινωθεί.

Το όζον έχει επίσης αρνητικές επιπτώσεις στις αγροτικές καλλιέργειες, δασική και άλλη βλάστηση.

### 1.3.4. ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ (PM10)

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μικρά τεμάχια ύλης σε στερεή ή υγρή φάση, που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ανάλογα με την προέλευση τους μπορούν να παρουσιάζουν ανομοιογένεια στη μορφή, μέγεθος και χημική σύσταση. Όσον πιο μικρά είναι τα σωματίδια, τόσο πιο πολύ αυξάνει η πιθανότητα εισχώρησης τους στην αναπνευστική περιοχή των πνευμόνων, όπου εναποτίθενται κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων και με την πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία των ανθρώπων.



## ΠΗΓΕΣ

Οι κυριότερες πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων είναι οι διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες, τα αυτοκίνητα, οι πυρκαγιές, τα καψαλίσματα χωραφιών και άλλες γεωργικές δραστηριότητες, οι κατασκευές, η επαναιώρηση σκόνης λόγω ισχυρών ανέμων κλπ.

## ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν την αναπνοή και προκαλούν ασθένειες στο αναπνευστικό σύστημα, στους πνεύμονες και στην καρδιά.

Τα παιδιά, τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή έχουν καρδιολογικά προβλήματα και οι ηλικιωμένοι, είναι ομάδες πληθυσμού ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Όσον πιο μικρά είναι τα σωματίδια τόσο πιο επικίνδυνα είναι. Η επικινδυνότητά τους εξαρτάται επίσης από τη χημική τους σύσταση.

Τα αιωρούμενα σωματίδια συμβάλλουν επίσης στη μείωση της ορατότητας.

### 1.3.5. BENZOLIO

Το βενζόλιο είναι μια πτητική οργανική ένωση (VOC) η οποία αποτελεί ένα από τα δευτερεύοντα συστατικά της βενζίνης .

## ΠΗΓΕΣ

Πηγές βενζολίου είναι τα πρατήρια βενζίνης και τα αυτοκίνητα διανομής της, καθώς επίσης και όλες οι μηχανές που χρησιμοποιούν βενζίνη σαν καύσιμο.

## ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Το βενζόλιο σαν ατούσια ένωση μπορεί να προκαλέσει χρόνιες παθήσεις όπως καρκίνο, αταξία στο κεντρικό νευρικό σύστημα, ζημιές στη λειτουργία του ήπατος και των νεφρών, ανωμαλίες στην αναπαραγωγή και προβληματικές γεννήσεις.

### 1.3.6. ΜΟΛΥΒΔΟΣ (Pb)

Ο μόλυβδος είναι μαλακό μέταλλο αργυρόχρουν και ανήκει στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων. Ένα ποσοστό της σωματιδιακής σκόνης αποτελείται από σωματίδια μολύβδου.

## ΠΗΓΕΣ

Πηγές μολύβδου μπορεί να είναι τα διάφορου τύπου μεταφορικά μέσα που χρησιμοποιούν μολυβδόχα βενζίνη, εργοστάσια που χρησιμοποιούν μόλυβδο ή ουσίες που περιέχουν μόλυβδο και χώροι που καίνε απορρίμματα.

## ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Υψηλά ποσοστά μολύβδου μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την πνευματική ανάπτυξη και δραστηριότητα των ανθρώπων, τη λειτουργία των νεφρών και τη χημεία του αίματος.

Τα νεαρά άτομα διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο εξαιτίας της μεγαλύτερης ευαισθησίας των νεανικών ιστών και οργάνων στο μόλυβδο.

### 1.4. ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Ο όρος ατμοσφαιρική ρύπανση καλύπτει ένα ευρύ φάσμα τοξικών αερίων ρύπων και αιωρούμενων σωματιδίων που εκπέμπονται στην τροπόσφαιρα του πλανήτη (0-15 km), καθώς και μια ποικιλία φωτοχημικών δευτερογενών ρύπων και άλλων ατμοσφαιρικών φαινομένων που είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενών εκπομπών. Η στρατόσφαιρα (15-50 km) είναι η περιοχή όπου επικρατεί η αραιή στοιβάδα του όζοντος, με κύριο σκοπό την προστασία της ζωής στον πλανήτη μας από τις υπεριώδεις ακτινοβολίες της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας είναι τα καυσαέρια των οχημάτων, οι

εκπομπές από εργοστάσια και βιοτεχνίες (κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας και σκόνης από την κατεργασία υλικών), τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, οι κεντρικές θερμάνσεις των οικιών, η καύση απορριμμάτων και γεωργικών υπολειμμάτων, οι αέριες εκπομπές από τη γεωργία και την κτηνοτροφία και οι φυσιολογικές εκπομπές φυτών και δένδρων. Οι κυριότεροι ρύποι είναι το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα ( $CO$ ,  $CO_2$ ), το διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ), τα οξειδία του αζώτου ( $NO_x$ ), πτητικές οργανικές ουσίες ( $VOCs$ ), και ποικιλία αιωρούμενων σωματιδίων (*suspended particulate matter*), από καυσαέρια, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οικοδομικές εργασίες και ηφαιστειογενή δραστηριότητα.

#### 1.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Οι πιο σημαντικές εκπομπές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αφορούν στο διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), το οποίο δεν είναι τοξικό αέριο αλλά με την υπερβολική συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σε παγκόσμια κλίμακα οι εκπομπές  $CO_2$  από 14.520.000 τόνοι (1971) διπλασιάσθηκαν σε, περίπου, 30.000.000 τόνους το 2000 και υπάρχει αλματώδης αύξηση λόγω της μεγάλης ζήτησης στην παραγωγή ενέργειας από αναπτυσσόμενες χώρες (Κίνα, Ινδία, κλπ). Πολυάριθμες έρευνες δείχνουν ότι τα αέρια του θερμοκηπίου παίζουν σημαντικό ρόλο στα οικοσυστήματα και στους κυριότερους κύκλους θρεπτικών υλικών και στοιχείων.

Το μονοξείδιο του άνθρακα ( $CO$ ) είναι εξαιρετικά τοξικό αέριο που παράγεται κατά 70-80% από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων. Οι εκπομπές του  $CO$  από οχήματα και βιομηχανίες υπολογίζονται σε περίπου 200 εκατομμύρια

τόνους, εκ των οποίων το 70% αφορά τις χώρες του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης, ΟΕCD, οργανισμός των 24 πλέον αναπτυγμένων βιομηχανικών χωρών με έδρα το Παρίσι) . Ανάλογες ποσότητες CO παράγονται σε παγκόσμια κλίμακα από τις φωτιές δασών και την καύση βιομάζας.

Το διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ) είναι αρκετά τοξικός αέριος ρύπος για το φυσικό περιβάλλον. Το  $SO_2$  είναι αποτέλεσμα της χρήσης ορυκτών καυσίμων με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο, καθώς και των εκπομπών ηφαιστειών. Υπολογίζεται ότι οι εκπομπές  $SO_2$  στη δεκαετία του '80 ήταν περίπου 100 εκατ. τόνοι, εκ των οποίων το 40% από τις χώρες του ΟΟΣΑ. Με τη βελτίωση των καυσίμων (αποθείωση) οι εκπομπές  $SO_2$  έχουν μειωθεί σημαντικά.. Εκτός από τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, σε αστικές περιοχές με αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση, το  $SO_2$  προκαλεί βλάβες στις επιφάνειες των κτιρίων και διαλυόμενο σε υδρατμούς δημιουργεί όξινη βροχή (acid rain) που καταστρέφει δασικές εκτάσεις και προκαλεί την αύξηση οξύτητας λιμνών με επιπτώσεις στους υδρόβιους οργανισμούς.

Τα οξείδια του αζώτου ( $NO$ ,  $NO_2$ ,  $NO_x$ ) είναι συνήθως αέριοι ρύποι των καυσαερίων των οχημάτων (40-50%), παράγονται όμως και κατά 50% από διάφορες καύσεις σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι εκπομπές  $NO_x$  σε παγκόσμια κλίμακα υπολογίζονται σε 60 εκατ. τόνους (τέλος της δεκαετίας '80), εκ των οποίων το 54% προέρχονται από τις χώρες του ΟΟΣΑ. Τα  $NO_x$  είναι ένας ακόμη παράγοντας για την παραγωγή όξινης βροχής, ενώ συμβάλλουν μαζί με το  $CO_2$  και το μεθάνιο ( $CH_4$ ) στην έξαρση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ειδικά για τα  $NO_x$  έχει συμφωνηθεί ειδική διεθνής συνθήκη για τον περιορισμό τους.

Τα αιωρούμενα σωματίδια (suspended particulates, particulate matter, PM) είναι ποικιλία μικρής διαμέτρου σωματιδίων (από 50 μέχρι 0,1  $\mu m$ )

από διάφορα υλικά και καύσεις (σκόνη χώματος, σκόνη ελαστικών, ανθρακούχα σωματίδια καύσεων, κλπ) που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα αστικών και βιομηχανικών περιοχών. Το σύνολο των εκπομπών σωματιδίων υπολογίζονται σε 60 εκατ. τόνους (1980) εκ των οποίων το 23% οφείλονται στις χώρες του ΟΟΣΑ. Η πορώδης επιφάνεια των σωματιδίων έχει την ικανότητα προσρόφησης βαρέων μετάλλων, καρκινογόνων ουσιών και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (ΠΑΥ) με αποτέλεσμα να προκαλούν ασθένειες και κακοήθειες νεοπλασίες του αναπνευστικού συστήματος. Οι επιδημιολογικές έρευνες των τελευταίων δεκαετιών δείχνουν αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα σε αστικές περιοχές λόγω υψηλών συγκεντρώσεων αιωρουμένων εισπνεόμενων σωματιδίων (ιδιαίτερα τα μικρής διαμέτρου σωματίδια, PM<sub>10</sub> PM<sub>2,5</sub> με 10 και 2,5 μm).

Οι πτητικές οργανικές ουσίες (Volatile Organic Compounds, VOCs) χαρακτηρίζονται κυρίως οι πτητικές αρωματικές ενώσεις (όπως το βενζόλιο, το τολουόλιο, ξυλόλια κλπ) που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Οι πηγές των VOCs είναι οι βιομηχανίες, τα καυσαέρια των οχημάτων, τα πρατήρια υγρών καυσίμων, χρώματα και οικοδομικά υλικά. Αν και το σύνολο των εκπομπών είναι δύσκολο να υπολογισθεί, οι ΗΠΑ εκπέμπουν , περίπου, 17.580.000 τόνους (1990), η Μ. Βρετανία 2.600.000 τόνους και η Γερμανία 2.545.000 τόνους. Οι VOCs μπορούν να παραμείνουν για 1-2 ημέρες στην ατμόσφαιρα διασπώμενες σε μεγάλη ποικιλία υδρογονανθράκων. Οι ΠΟΕ παίζουν σημαντικό ρόλο σε φωτοχημικές αντιδράσεις και συμβάλλουν στην περιβαλλοντική ρύπανση, λόγω της υψηλής τοξικής και καρκινογόνου δράσης. Οι ΠΟΕ θεωρούνται επικίνδυνες για την υγεία του ανθρώπου.

Το όζον (O<sub>3</sub>) είναι δευτερογενής ατμοσφαιρικός ρύπος, που παράγεται ως αποτέλεσμα των φωτοχημικών αντιδράσεων μεταξύ υδρογονανθράκων και

οξειδίων του αζώτου στην ατμόσφαιρα. Λόγω της οξειδωτικής ικανότητας του όζοντος θεωρείται εξαιρετικά επικίνδυνος ρύπος, τόσο για την υγεία του ανθρώπου, όσο και για βλάβες στα φυτά, τα δένδρα και τα υλικά.

## 1.6. ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν διερευνηθεί και τεκμηριωθεί οι πολύπλοκες φωτοχημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν μεταξύ των οργανικών και ανόργανων αερίων ρύπων και πτητικών ενώσεων, με την παραγωγή δευτερογενών ρύπων που απειλούν λόγω τοξικότητας την υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον. Οι φωτοχημικές αντιδράσεις είναι αποτέλεσμα της απορρόφησης ενέργειας (που συνδέεται με την ηλιακή ακτινοβολία) από ορισμένες ουσίες με αποτέλεσμα τη μεταβολή της ενεργειακής τους κατάστασης. Αυτό προκαλεί ηλεκτρονική υπερδιέγερση που με τη σειρά του οδηγεί στη δημιουργία δραστικών ουσιών, όπως ελεύθερες ρίζες και ιόντα, ικανές για αλυσωτές αντιδράσεις και δημιουργία δευτερογενών ρύπων.

Οι βασικές φωτοχημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι αποτέλεσμα της ηλιακής υπεριώδους ακτινοβολίας(UV), δραστικών πτητικών υδρογονανθράκων (όπως οι αλδεΐδες), μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και οξειδίων του αζώτου. Οι αντιδράσεις που ενεργοποιούνται από το μίγμα αυτό οδηγεί στην παραγωγή των κυριότερων δραστικών ρύπων , όπως το όζον (O<sub>3</sub>), το υπεροξειδίο του υδρογόνου (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), το νιτρικό υπεροξυλοακετύλιο [CH<sub>3</sub> C(O)OONO<sub>2</sub> , peroxyacetyl nitrate, PAN] και τα υπεροξειδία του αζώτου μέσω μηχανισμών ελευθέρων ριζών.

## 1.7. ΟΖΟΝ ΚΑΙ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

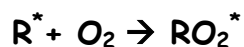
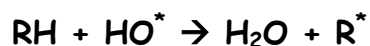
Το όζον παράγεται φωτοχημικά μέσω της οξειδωσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub> και VOCs με οξειδία του αζώτου (NO<sub>x</sub>). Παρακάτω, δίνονται οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα, καθώς και σχηματική παράσταση των αλυσιδωτών αντιδράσεων της φωτοχημικής ρύπανσης (πρωτογενών και δευτερογενών ρύπων).

Οι αντιδράσεις είναι:

α) παραγωγή ρίζας υδροξυλίου από το O<sub>3</sub>:



β) αλκάνια και ρίζα υδροξυλίου:

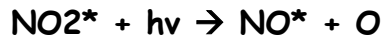
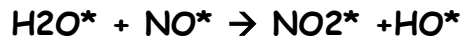


γ) σχηματισμός καρβονυλικών ενώσεων:





δ) η υδροϋπεροξυλο- ρίζα με NO μετατρέπεται σε όζον :



### 1.8. NO X ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Τα οξειδία του αζώτου διαδραματίζουν έναν κεντρικό ρόλο στην τροποσφαιρική χημεία και υπάρχουν αρκετοί λόγοι που είναι απαραίτητοι μια εμπειριστατωμένη γνώση της παγκόσμιας τροποσφαιρικής κατανομής τους.

Τα NOX είναι ο γενικός τύπος μιας ομάδας πολύ δραστικών αερίων τα οποία περιέχουν άζωτο και οξυγόνο σε διαφορετική αναλογία. Πολλά από τα NOX είναι άχρωμα. Βέβαια, ένας κοινότατος ρύπος το NO<sub>2</sub>, συνεργία των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, φαίνεται σαν καφέ - κόκκινο στρώμα πάνω από τις αστικές περιοχές. Τα NOX σχηματίζονται κατά την καύση των καυσίμων σε υψηλές θερμοκρασίες. Βασική πηγή των NOX είναι τα μηχανοκίνητα οχήματα και άλλες βιομηχανικές και εμπορικές πηγές που λειτουργούν με καύσιμα.

- Τα NOX είναι από τους κύριους ρύπους που συμμετέχουν στο σχηματισμό του όζοντος στα χαμηλά στρώματα, το οποίο μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα υγείας.
- Αντιδρά στο σχηματισμό όξινων σωματιδίων, όξινων αερολυμάτων, όπως το NO<sub>2</sub> το οποίο επίσης προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα.

- Συνεισφέρει στο σχηματισμό της όξινης βροχής.
- Συνεισφέρει στα ατμοσφαιρικά σωματίδια που προκαλούν μείωση της ορατότητας.
- Αντιδρά στο σχηματισμό τοξικών χημικών.
- Συνεισφέρει στην παγκόσμια θέρμανση.

**Πίνακας 1:** Παρουσίαση ιδιοτήτων NO<sub>2</sub>

<b>ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ NO<sub>2</sub></b>	
<b>ΜΟΡΙΑΚΟΣ ΤΥΠΟΣ</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>
<b>ΜΟΡΙΑΚΗ ΜΑΖΑ</b>	<b>46.0055</b>
<b>ΕΜΦΑΝΙΣΗ</b>	<b>ΚΑΦΕ-ΚΙΤΡΙΝΟ ΑΕΡΙΟ</b>
<b>ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ</b>	<b>1443 kg/m<sup>3</sup>, liquid 3.4 kg/m<sup>3</sup>, gas at 294.25 K</b>
<b>Σ . ΤΗΞΗΣ</b>	<b>-11.2°C (261.95 K)</b>
<b>Σ . ΒΡΑΣΜΟΥ</b>	<b>21.1°C (293.25 K)</b>
<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ</b>	<b>Highly toxic (T+) ΠΟΛΥ ΤΟΞΙΚΟ</b>
<b>E.E. R-phrases</b>	<b>R26, R34</b>
<b>S-phrases</b>	<b>(S1/2), S9, S26, S28, S36/37/39, S45</b>

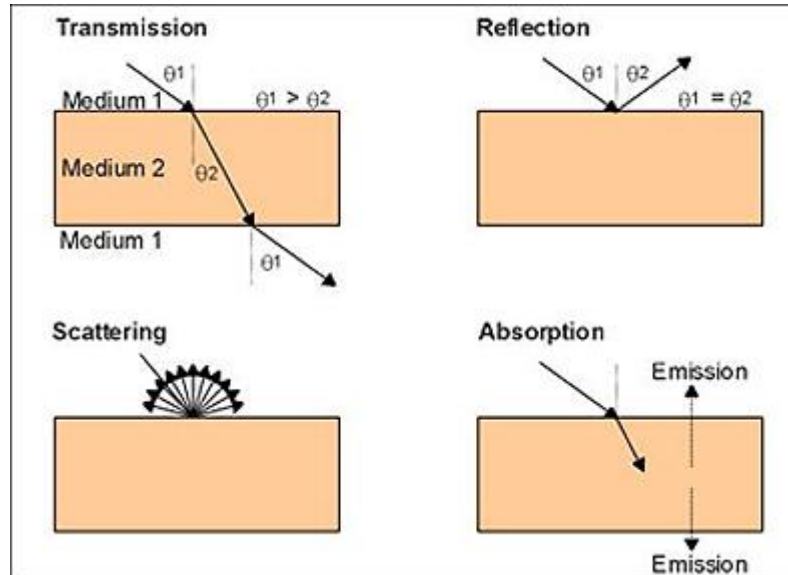
## 2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ:ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ

### 2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η φασματοσκοπία περιγράφει τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την ύλη (απορρόφηση, εκπομπή, σκέδαση) και διευκολύνει την μελέτη των φυσικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα. Με τον όρο ύλη περιγράφουμε τα άτομα, μόρια, ατομικά ή μοριακά

ιόντα ή στερεά. Τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης της ύλης με την ακτινοβολία μπορεί να είναι ανακατεύθυνση της ακτινοβολίας ή/και μεταπτώσεις ανάμεσα στα ενεργειακά επίπεδα των ατόμων ή των μορίων.

**Εικόνα 1:** Απεικόνιση πιθανών αλληλεπιδράσεων ακτινοβολίας με την ύλη.



## 2.2. ΕΙΔΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ

Τα είδη της φασματοσκοπίας σε αντιστοιχία με τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης του φωτός με την ύλη, διακρίνονται σε:

- Φασματοσκοπία απορρόφησης
- Φασματοσκοπία εκπομπής
- Φασματοσκοπία ανάκλασης φθορισμού
- Φασματοσκοπία σκέδασης

Κάθε είδος να εξυπηρετεί συγκεκριμένες ανάγκες.

## 2.3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ

Η φασματοσκοπία χρησιμοποιείται σε πολλούς επιστημονικούς κλάδους όπως: Αναλυτική χημεία, Βιοχημεία, Ιατρική, Βιομηχανία, Περιβάλλον. Με τον τελευταίο θα ασχοληθούμε εκτενέστερα στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

## 2.4. ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Μια από τις πιο χαρακτηριστικές εφαρμογές της φασματοσκοπίας είναι η μέτρηση ρύπων τόσο στη ατμόσφαιρα όσο και στο υδάτινο περιβάλλον αλλά και η χαρτογράφηση περιοχών μέσω της τηλεπισκόπησης.

Η μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης γίνεται με τη χρήση της φασματοσκοπίας και των μετρήσεων που μας παρέχει σχετικά με τις ποσότητες των αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα.

## 3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΡΧΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

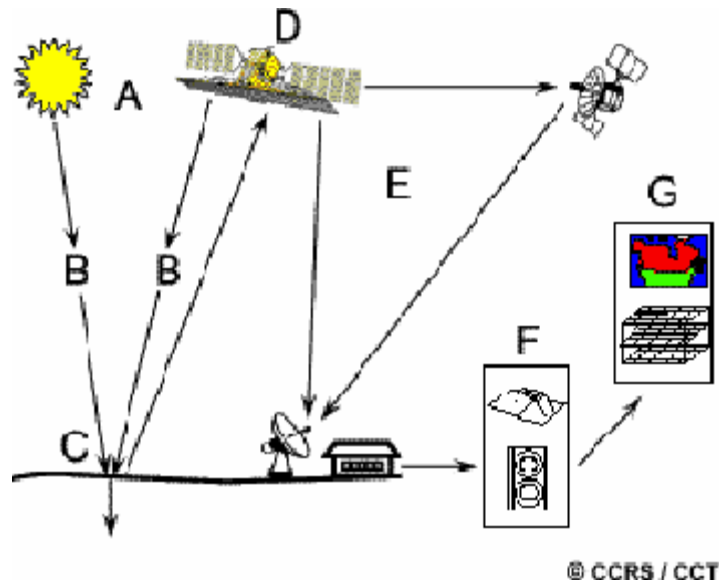
### 3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη που μας παρέχει πληροφορίες για τη γήινη επιφάνεια με την καταγραφή της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Η διαδικασία της τηλεπισκόπησης αποτυπώνει την αλληλεπίδραση μεταξύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και των υπό εξέταση στόχων.

Τα συστήματα απεικόνισης συνήθως αποτελούνται από τα ακόλουθα στοιχεία :

- (A) Πηγή παροχής ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας
- (B) Αλληλεπίδραση ενέργειας με την ατμόσφαιρα
- (C) Αλληλεπίδραση ενέργειας με το στόχο
- (D) Καταγραφή της ενέργειας από τον αισθητήρα
- (E) Μετάδοση ,υποδοχή και επεξεργασία
- (F) Ερμηνεία και ανάλυση
- (G) Εφαρμογή

Εικόνα 2: Σχηματική περιγραφή της τηλεπισκόπησης



### 3.2. ΤΡΟΠΟΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Προκειμένου ένας αισθητήρας να συλλέγει και να καταγράφει την ενέργεια που ανακλάται ή που εκπέμπεται από έναν στόχο ή μια επιφάνεια, πρέπει να εδράζεται σε μια σταθερή πλατφόρμα.

Οι πλατφόρμες για τους μακρινούς αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν στο έδαφος, σε αεροσκάφη ή κάποια άλλη πλατφόρμα μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα, ή σε ένα διαστημικό σκάφος ή δορυφόρο έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα . Λόγω της τροχιάς τους, οι δορυφόροι επιτρέπουν την συνεχή κάλυψη της γήινης επιφάνειας .

Το κόστος είναι συχνά ένας σημαντικός παράγοντας στην επιλογή μεταξύ των διαφόρων επιλογών πλατφορμών .

Οι τρόποι τηλεπισκόπησης συνοψίζονται παρακάτω :

- **Αεροφωτογραφία**
- **Μεμονωμένοι αισθητήρες**
- **Δορυφόροι**

Τα όργανα μέτρησης της Η /Μ ακτινοβολίας ονομάζονται γενικά ραδιόμετρα και οι βασικές τους κατηγορίες είναι :

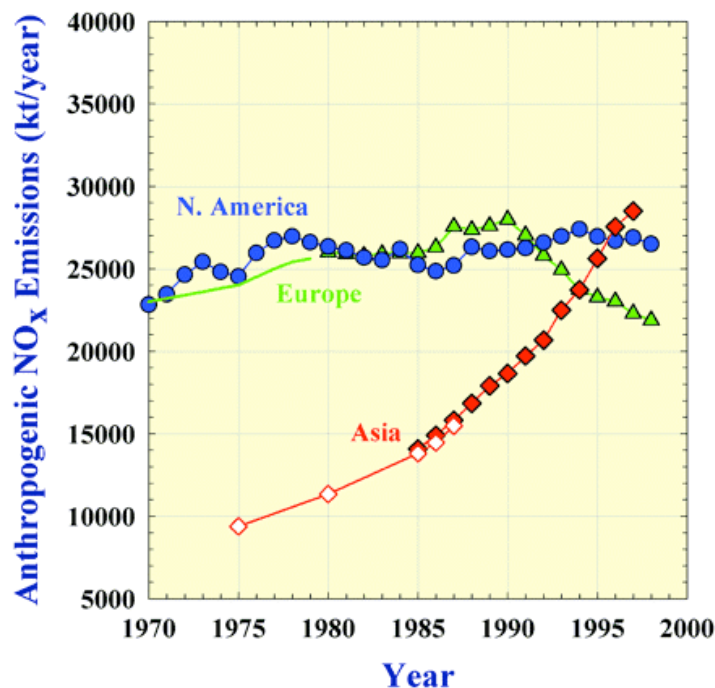
- **Αισθητήρες εικόνας (imagers)**
- **Αισθητήρες μέτρησης**

### 3.3. Η ΑΝΑΓΚΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ

Τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) στην τροπόσφαιρα χαρακτηρίζονται από τη σύντομη διάρκεια ζωής και τις τοπικού χαρακτήρα εκπομπές τους. Έχουν επίσης υψηλή χωρική και χρονική μεταβλητότητα, με αποτέλεσμα οι επιφανειακοί σταθμοί μετρήσεων να αδυνατούν να περιέχουν ακριβή και συνολικά αποτελέσματα. Επιπρόσθετα οι μετρήσεις των σταθμών αυτών περιορίζονται στη μέτρηση των επιφανειακών ρύπων.

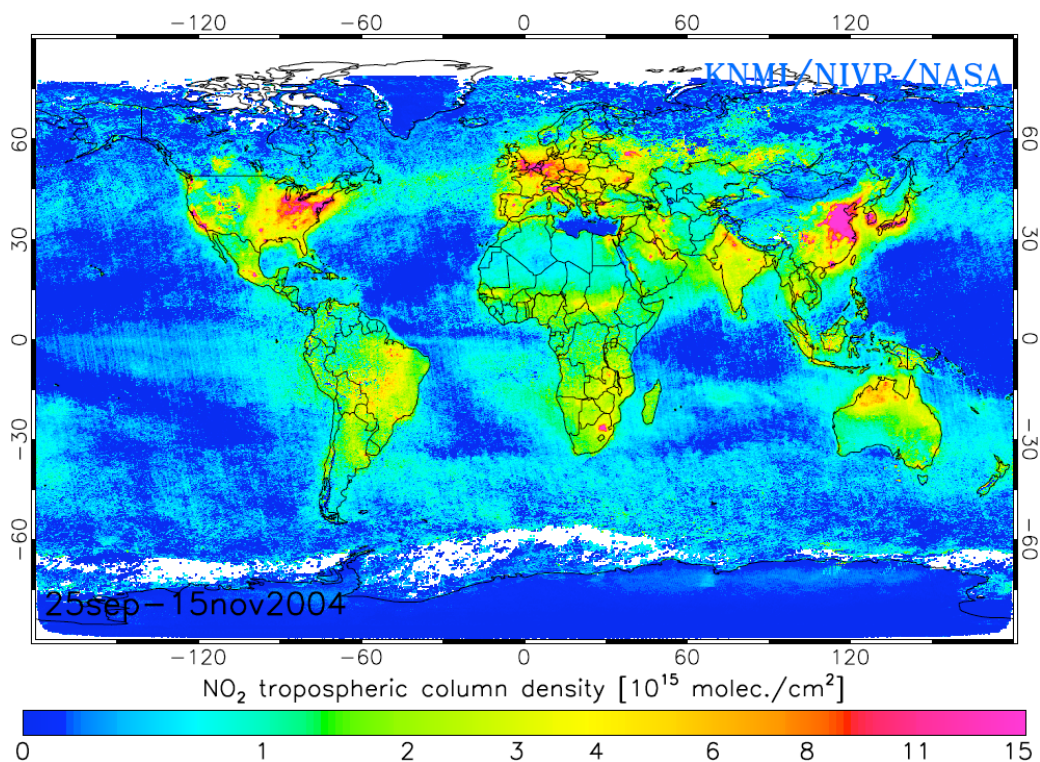
Οι παρατηρήσεις από το διάστημα μπορούν να παρέχουν παγκόσμια κάλυψη των υπό μελέτη περιοχών αλλά και να προσδιορίσουν τις πηγές των οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), μιας και υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ της οικονομικής ανάπτυξης και της κάθε χώρας και του πληθυσμού με τις τιμές  $\text{NO}_2$  που μετράει ο δορυφόρος.

**Εικόνα 3:** Εντάσεις των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων το 2005 και το 2020 (Πηγή: J. Xing et al.: Air pollutant emissions and its impacts on air quality in China).



Το διάγραμμα δείχνει την δραματική αύξηση σε ανθρωπογενή ατμοσφαιρική ρύπανση σε  $\text{NO}_x$  (δείκτης ατμοσφαιρικής ρύπανσης) στην Ασία την περίοδο 1975- 2000 (Akimoto, 2003).

**Εικόνα 4:** Ο πρώτος παγκόσμιος χάρτης όπου δείχνεται η συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ), από το πρόγραμμα DOMINO-1, όπως παρατηρήθηκε για πρώτη φορά από το OMI μεταξύ 25 Σεπτεμβρίου και 15 Νοεμβρίου 2004.



### 3.4. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η τηλεπισκόπηση περιλαμβάνει τη χρήση οργάνων ή αισθητήρων με φασματικές και χωρικές σχέσεις των αντικειμένων και των υλικών που είναι αισθητά σε κάποια απόσταση. Τα μόρια αερολύματος είναι ορατά από το



διάστημα, και επιτρέπουν μια σφαιρική εκτίμηση της παρουσίας ποικίλων ρύπων, συμπεριλαμβανομένης της μαύρης αιθάλης άνθρακα.

## **4ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ**

### 4.1. ENVISAT

Το Envisat είναι το μεγαλύτερο διαστημικό σκάφος γήινης παρατήρησης που κατασκευάστηκε ποτέ. Αποτελείται από δέκα περίπλοκα οπτικά όργανα και ραντάρ μετρήσεων παρακολούθησης των παγετώνων. Τα στοιχεία του Envisat παρέχουν έναν πλούτο πληροφοριών για το γήινο σύστημα, ενώ εντοπίζουν τους παράγοντες που συμβάλλουν στην αλλαγή του κλίματος. Το μεγαλύτερο ενιαίο όργανό του Envisat είναι το προηγμένο ραντάρ συνθετικών ανοιγμάτων (Advanced Synthetic Aperture Radar -ASAR), που λειτουργεί στην γ-ταινία και εξασφαλίζει τη συνοχή των στοιχείων μετά από ERS-2. Χαρακτηρίζει την ενισχυμένη ικανότητα από την άποψη της κάλυψης, της σειράς των γωνιών επίπτωσης, της πόλωσης, και του τρόπου λειτουργίας. Οι βελτιώσεις επιτρέπουν το steering ανύψωσης ακτινών ραντάρ και την επιλογή των διαφορετικών δρεπανιών, 100 ή 400 χλμ ευρύς. Το μέσο φασματομέτρο απεικόνισης ψηφίσματος (MERIS) είναι ένα φασματομέτρο απεικόνισης που μετρά την ηλιακή ακτινοβολία που απεικονίζεται από τη γη, σε ένα επίγειο χωρικό ψήφισμα 300 μ, με 15 φασματικές ζώνες ορατοί και κοντινοί υπέρυθρος και προγραμματισμός στο πλάτος και τη θέση. MERIS επιτρέπει τη σφαιρική κάλυψη της γης κάθε 3 ημέρες. Η αρχική αποστολή MERIS είναι η μέτρηση του χρώματος θάλασσας στους ωκεανούς και τις παραλιακές περιοχές. Η γνώση χρώματος θάλασσας μπορεί να μετατραπεί σε μια μέτρηση της συγκέντρωσης χρωστικών ουσιών

χλωροφύλλης, της ανασταλμένων συγκέντρωσης ιζημάτων και των φορτίων αερολύματος πέρα από τις θαλάσσιες περιοχές. Χρησιμοποιείται επίσης για μετρήσεις του εδάφους και τον ατμοσφαιρικό έλεγχο.

Διαθέτει αυξημένες δυνατότητες όσον αφορά την κάλυψη, το εύρος της συχνότητας των γωνιών, την πόλωση και τους τρόπους λειτουργίας.

#### 4.2. ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΟ MERIS

Το MERIS είναι ένα φασματόμετρο απεικόνισης που μετρά την ηλιακή ακτινοβολία που αντανακλάται από τη Γη, σε μια χωρική έκταση 300 τ.μ., με 15 φασματικές ζώνες στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο περιβάλλον. Είναι επίσης, προγραμματιζόμενο σε πλάτος και θέση. Τα ο MERIS επιτρέπει παγκόσμια κάλυψη της Γης κάθε 3 ημέρες.

Το MERIS χρησιμοποιείται κυρίως για την μέτρηση του χρώματος των θαλασσών των ωκεανών και των παράκτιων περιοχών. Οι μετρήσεις αυτές αναγόνται σε μετρήσεις συγκεντρώσεων χλωροφύλλης (χρωστικής ουσίας που λειτουργεί αναστέλλοντας τις συγκεντρώσεις ιζημάτων και αερολυματικών φορτίων πάνω από τις θαλάσσιες περιοχές) . Χρησιμοποιείται επίσης για την παρακολούθηση της γης και της ατμόσφαιρας.

### 4.3. SCIAMACHY

Το SCIAMACHY είναι ένα φασματόμετρο εικόνας το οποίο πραγματοποιεί μετρήσεις των αερίων ιχνών στην τροπόσφαιρα και στη στρατόσφαιρα. Η ηλιακή ακτινοβολία διαβιβάζεται, αντανακλώντας τα κύματα των μορίων, ή των σημάτων πίσω στην κατεύθυνση από την οποία προήλθαν και απεικονίζεται στην ατμόσφαιρα και καταγράφεται στο σχετικά υψηλό φάσμα (0.2 NM σε 0.5 NM) πάνω από το φάσμα 240 NM ως 1700 NM, και σε επιλεγμένες περιοχές μεταξύ 2000 NM και 2400 NM. Το υψηλό φάσμα και η ευρεία σειρά μήκους κύματος του επιτρέπουν να ανιχνεύει πολλά διαφορετικά αέρια ίχνη παρά τις χαμηλές συγκεντρώσεις. Η μεγάλη σειρά μήκους κύματος επιτρέπει επιπρόσθετα την ανίχνευση των σύννεφων και των αερολυμάτων. Το SCIAMACHY έχει τρεις διαφορετικές γεωμετρίες εξέτασης: ναδίρ, άκρο, και επιπρόσθεση ήλιων/φεγγαριών.

Χαρτογραφεί τον αέρα πάνω από μία πολύ ευρεία σειρά μηκών κύματος, η οποία επιτρέπει τον εντοπισμό αερίων ιχνών, όζοντος και συναφών αερίων, σύννεφων και μορίων σκόνης σε όλη την ατμόσφαιρα. Το SCIAMACHY καλύπτει ολόκληρο τον κόσμο κάθε έξι ημέρες στον ισημερινό και πιο συχνά στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.

Είναι μέρος μιας οικογένειας ατμοσφαιρικών φασματόμετρων που περιλαμβάνει επίσης το GOME σε ERS-2 και χρηματοδοτήθηκε από τη γερμανική κυβέρνηση μέσω του γερμανικού αεροδιαστημικού κέντρου (DLR), την ολλανδική κυβέρνηση μέσω της ολλανδικής αντιπροσωπείας για τα αεροδιαστημικά προγράμματα (NIVR) και επίσης τη βελγική κυβέρνηση μέσω bira-IASB.

**Πίνακας 2:** Βασικά περιγραφικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά φασματόμετρου SCIAMACHY.

<b>ΘΕΣΗ</b>	<b>Λειτουργική</b>	
<b>ΤΥΠΟΣ</b>	<b>Ατμοσφαιρική Χημεία</b>	
<b>ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>	<b>Ακρίβεια</b>	<b>Ραδιομετρική &lt; 4%</b>
	<b>Χωρικό ψήφισμα</b>	<b>Κατακόρυφος 3 X 132km, ναδέρ οριζόντια 32 X 215km άκρων</b>
	<b>Πλάτος γήινης επιφάνειας από την οποία συλλέγονται τα στοιχεία του δορυφόρου</b>	<b>Άκρο και ναδέρ: 1000km (max)</b>
	<b>Συχνότητα κύματος</b>	<b>UV-SWIR: 240-314, 309- 3405, 394-620, 604-805, 785-1050, 1000-1750, 1940-2040 and 2265-2380nm</b>
<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</b>	<b>Γεωργία (δασικές πυρκαγιές) Ατμόσφαιρα (ατμοσφαιρική ποιότητα (όζον)) ατμοσφαιρική χημεία (αέρια ίχνη), ατμοσφαιρική θερμοκρασία, ατμοσφαιρική ακτινοβολία, σύννεφα) Στερεά Γή (ηφαιστεια) Ωκεανοί και ακτές (χρώμα ωκεανού /η βιολογία)</b>	

#### 4.4. GOME

Το GOME, είναι ένας σαρωτής στο ναδίρ υπεριώδους και ορατής φασματομέτρησης που χρησιμοποιείται για την παγκόσμια παρακολούθηση του ατμοσφαιρικού όζοντος.

Καταγράφει τριήμερες παγκόσμιες παρατηρήσεις του ολικού όζοντος, διοξειδίου του αζώτου και των σχετικών πληροφοριών για τα σύννεφα. Τα στοιχεία καταγράφονται απευθείας σε CD-ROM και στο διαδίκτυο. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του GOME είναι η ικανότητά του να ανιχνεύει και άλλα χημικά ενεργά ατμοσφαιρικά ίχνη αερίων καθώς και αεροζόλ διανομής. Τα όργανα GOME και SHIAMACHY χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για τις μετρήσεις του στρατοσφαιρικού όζοντος. Σήμερα όμως χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση ενός σημαντικού αριθμού βασικών τροποσφαιρικών ιχνών αερίων όπως: φορμαλδεΐδη, μονοξειδίο του μεθανίου, διοξείδιο του θείου, διοξείδιο του άνθρακα κ.α.

Πρώτα με το GOME και έπειτα πολύ καλύτερα με SCIAMACHY άνοιξε ένας δρόμος για την ίδρυση ενός λειτουργικού παγκόσμιου συστήματος παρατήρησης για την ατμόσφαιρα της Γης. Αυτό είναι κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο καθώς οι δραστηριότητες του ανθρώπου και οι αλληλεπιδράσεις τους με τα φυσικά φαινόμενα αποτελούν την κινητήρια δύναμη της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής.

**Πίνακας 3:** Βασικά περιγραφικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά φασματόμετρου GOME.

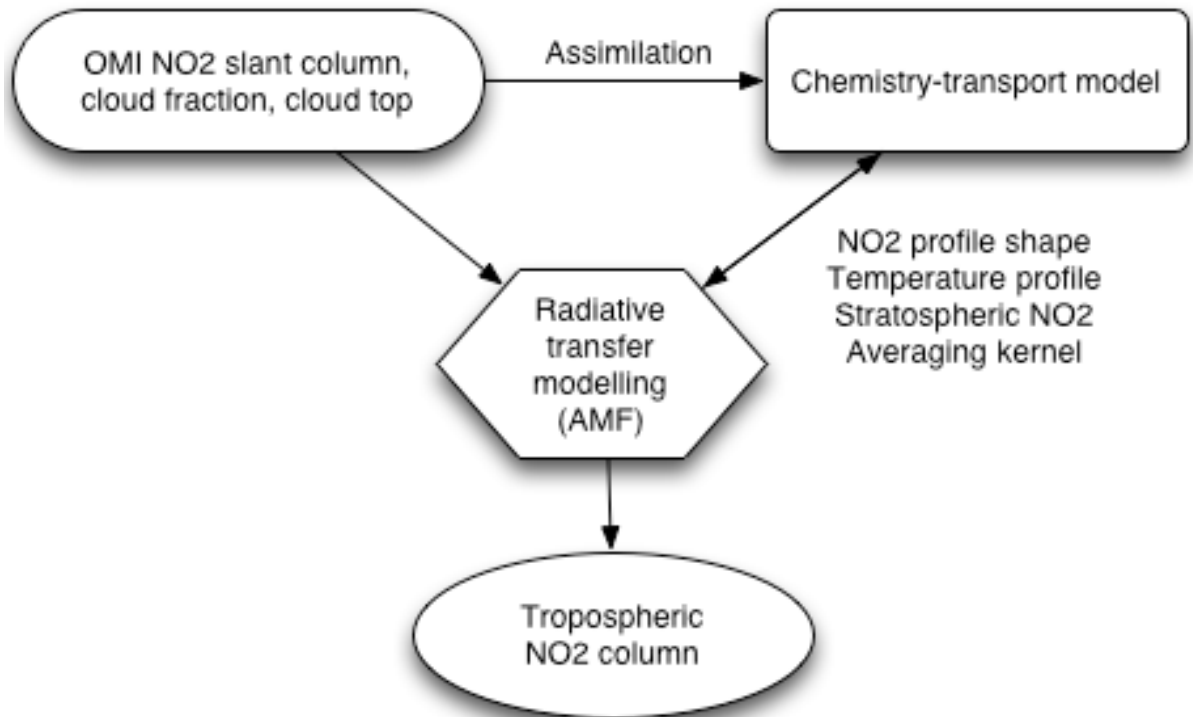
<b>ΘΕΣΗ</b>	<b>Πρωτότυπη</b>	
<b>ΤΥΠΟΣ</b>	<b>Ατμοσφαιρική Χημεία</b>	
<b>ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>	<b>Ακρίβεια</b>	
	<b>Χωρικό ψήφισμα</b>	<b>Κατακόρυφος: 5km (για O<sub>3</sub>), οριζόντιος: 40 X 40 χλμ σε 40 X 320 χλμ</b>
	<b>Πλάτος γήινης επιφάνειας από την οποία συλλέγονται τα στοιχεία του δορυφόρου</b>	<b>120-960km</b>
	<b>Συχνότητα κύματος</b>	<b>UV-NIR: 0.240.79<sup>Å</sup>μm (ψήφισμα 0.20.4nm)</b>
<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</b>	<b>Ατμόσφαιρα (ατμοσφαιρική ποιότητα (όζον)) ατμοσφαιρική χημεία (αέρια ίχνη, σύννεφα)</b>	

Τα UV/VIS φασματόμετρα GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) και SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric Cartog-rapHY), κατέστησαν δυνατή την παρατήρηση των χημικών προϊόντων στην κατώτερη τροπόσφαιρα, δηλαδή στο οριακό στρώμα.

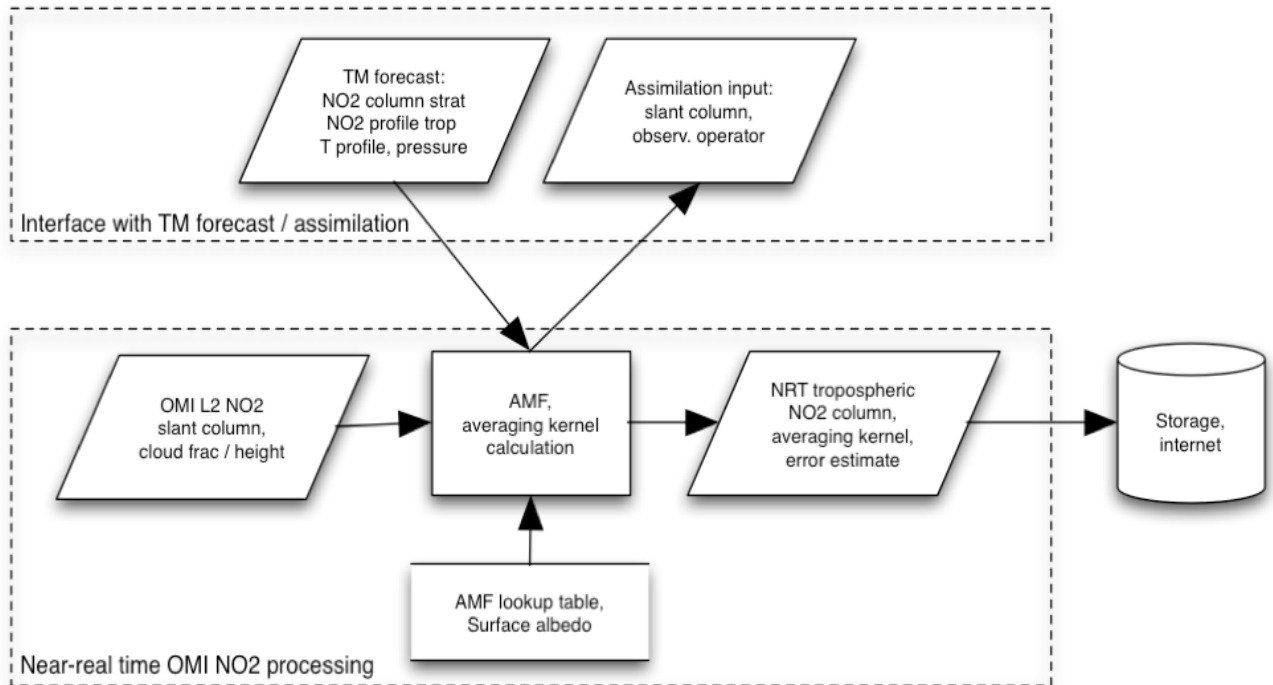
#### 4.5. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα επεξεργασμένα δεδομένα που προκύπτουν από τις μετρήσεις του ΟΜΙ συνδυάζονται με CTM (Chemistry-Transport Model) μοντέλα. Ως αποτέλεσμα της όλης διαδικασίας είναι παραγωγή της στήλης του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) για την τροπόσφαιρα.

**Σχήμα 1:** Διάγραμμα ροής του NRT υποσυστήματος, όπου το επάνω δείχνει την αλληλεπίδρασή του υποσυστήματος αυτού με το «forecast/assimilation subsystem».



**Σχήμα 2:** Διάγραμμα ροής του NRT υποσυστήματος. Το επάνω μέρος του διαγράμματος είναι η αλληλεπίδραση του υποσυστήματος αυτού με το «forecast/assimilation subsystem».



#### 4.6. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ RAM

Ο αλγόριθμος «near real time NO<sub>2</sub> retrieval» (ανάκτηση του NO<sub>2</sub> σε σχεδόν πραγματικό χρόνο) βασίζεται στη ονομαζόμενη «retrieval-assimilation-modelling» προσέγγιση (Boersma et al. , 2004).

Η προσέγγιση RAM έχει εφαρμοσθεί στο KNMI με σκοπό να παράγει μια βάση δεδομένων για το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) στην τροπόσφαιρα από μετρήσεις που προέρχονται από το GOME και το SCIAMACHY, ενώ αποτελείται από μια τριών βημάτων διαδικασία.



1. Η πυκνότητα της επικλινής στήλης προσδιορίζεται από τη φασματική ταυτοποίηση του φάσματος ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας της Γης με τη τεχνική της Φασματοσκοπίας Διαφορικής Οπτικής Απορρόφησης, ( DOAS ).
2. Η συνεισφορά της στρατόσφαιρας στην επικλινή στήλη εκτιμάται χρησιμοποιώντας ένα CTM (Chemistry-Transport Model) μοντέλο, όπου λαμβάνονται υπόψη η χημεία της στρατόσφαιρας και τα πεδία των ανέμων.
3. Η εναπομείνασα επικλινή στήλη για τη τροπόσφαιρα μετατρέπεται σε κάθετη στήλη εφαρμόζοντας το συντελεστή αέρα-μάζας (air-mass factor AMF) για τη τροπόσφαιρα.

Η στήλη του NO<sub>2</sub> της τροπόσφαιρας ανακτάται σύμφωνα με την σχέση:

$$V_{\sigma} = \frac{(S - S_{st})}{M_{tr}(x_{a,tr}, b)}$$

Όπου

S: η πυκνότητα της επικλινής στήλης (βήμα 1)

S<sub>st</sub>: η πυκνότητα της επικλινούς στήλη από την στρατόσφαιρα (βήμα 2)

M<sub>tr</sub>: ο συντελεστής αέρα-μάζας της τροπόσφαιρας, ο οποίος εξαρτάται από το «priori NO<sub>2</sub> profile x<sub>a,tr</sub>» και από ένα πλήθος παραμέτρων b (π.χ. ποσοστό νέφωσης, το υψόμετρο των νεφών, ανακλαστική ικανότητα της Γης, γεωμετρία της προβάλλουσας επιφανείας).

Η ευαισθησία της κάθετης κατανομής του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) εξαρτάται πάρα πολύ από την ανακλαστική ικανότητα και από τη παρουσία των νεφών.

Ο αλγόριθμος NRT, βασίζεται στη μέθοδο RAM αλλά έχουν κάποιες διαφορές όπως:

- Απαιτήση για επεξεργασία σε σχεδόν πραγματικό χρόνο.
- Διαφορετική μέθοδος στατιστικής προσέγγισης.
- Δεδομένα εισαγωγής που προέρχονται από τα νέφη και τα οποία αντλούνται από διαφορετικούς αλγόριθμους.

#### 4.7. Η ΜΕΘΟΔΟΣ NRT (Near-Real Time Retrieval)

Η NRT μέθοδος στηρίζεται σε δεδομένα που προέρχονται από καθημερινές αναλύσεις και προβλέψεις του ECMWF7 (European Centre for Middle Range Weather Forecast).

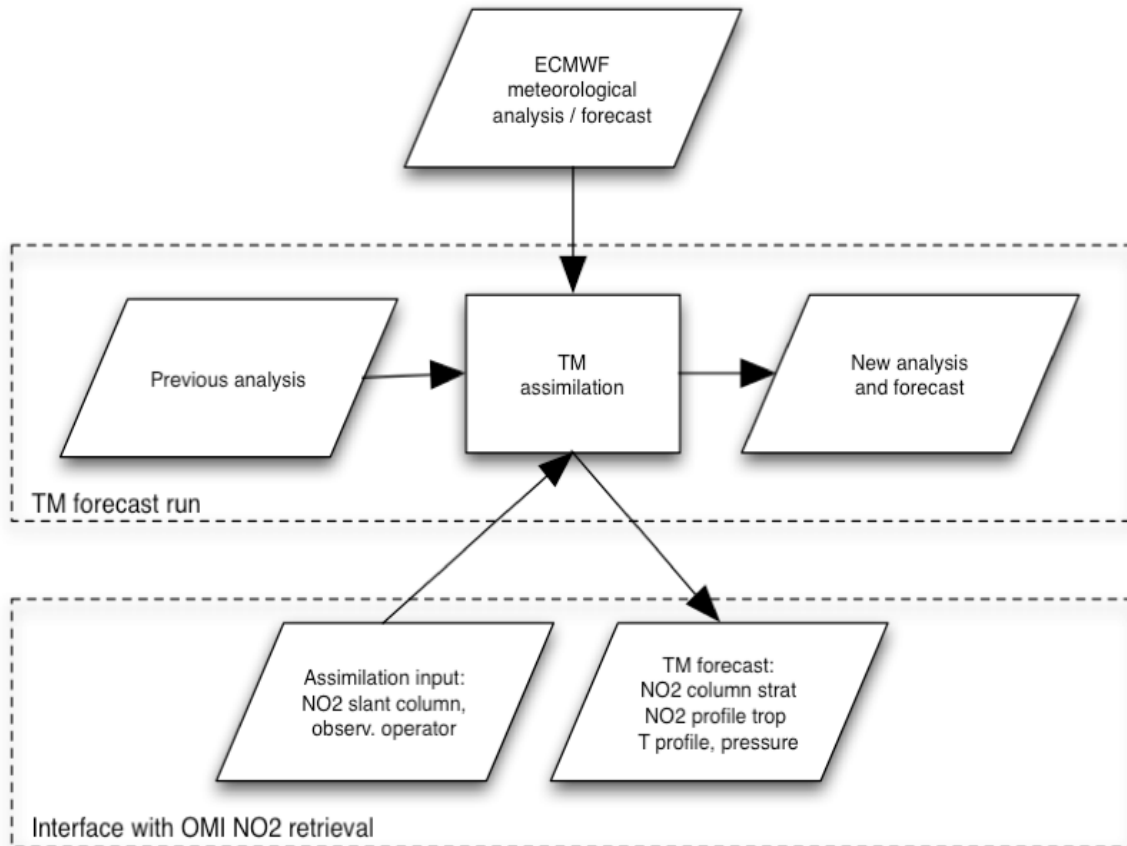
Ο αλγόριθμος NRT αποτελείται από δυο διακριτά μεταξύ τους υποσυστήματα. Το πρώτο κομμάτι του αλγορίθμου (TM forecast subsystem) «τρέχει» μια φορά τη μέρα, όταν τα μετεωρολογικά δεδομένα είναι διαθέσιμα. Το δεύτερο κομμάτι ενεργοποιείται κάθε φορά που δεδομένα από το φασματογράφο ΟΜΙ είναι διαθέσιμα και ενσωματώνει τα δεδομένα αυτά στα δεδομένα που παρέχονται από το πρώτο υποσύστημα.

Στο πρώτο υποσύστημα, η πραγματική χημική κατάσταση της ατμόσφαιρας βασίζεται σε αναλύσεις και προβλέψεις που έχουν γίνει για την προηγούμενη μέρα. Στη συνέχεια γίνεται προσομοίωση της χημικής κατάστασης της ατμόσφαιρας για τη τρέχουσα μέρα. Αυτό γίνεται τροφοδοτώντας ένα CTM (Chemistry-Transport Model) μοντέλο στο οποίο εισάγονται τα μετεωρολογικά δεδομένα από το ECMWF και όλες οι διαθέσιμες μετρήσεις της επικλινής στήλης του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) από το OMI. Τα αποτελέσματα που βγάζει το μοντέλο, χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στο δεύτερο υποσύστημα.

Όταν τα δεδομένα της επικλινής στήλης του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) από το OMI φθάσουν στο KNMI, γίνεται πρόβλεψη για την επικλινή στήλη του NO<sub>2</sub> της στρατόσφαιρας ( από το υποσύστημα «TM forecast subsystem»). Στη συνέχεια, αφού αφαιρεθεί η επικλινή στήλη που αντιστοιχεί στη στρατόσφαιρα από τη συνολική επικλινή στήλη του NO<sub>2</sub>, η εναπομείνουσα επικλινή στήλη για τη τροπόσφαιρα μετατρέπεται σε κάθετη στήλη με τη βοήθεια του συντελεστή αέρα-μάζας (AMF).

Ο συντελεστής αέρα-μάζας (AMF) εξαρτάται από τη γεωμετρία της μέτρησης και την ευαισθησία και είναι ο λόγος μεταξύ της υπολογιζόμενης επικλινούς στήλης του NO<sub>2</sub> για την τροπόσφαιρα και της κάθετης στήλης του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) για την τροπόσφαιρα.

Σχήμα 3: Διάγραμμα ροής για το «forecast/assimilation subsystem».



#### 4.8. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΛΙΝΟΥΣ ΣΤΗΛΗΣ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (NO<sub>2</sub>)

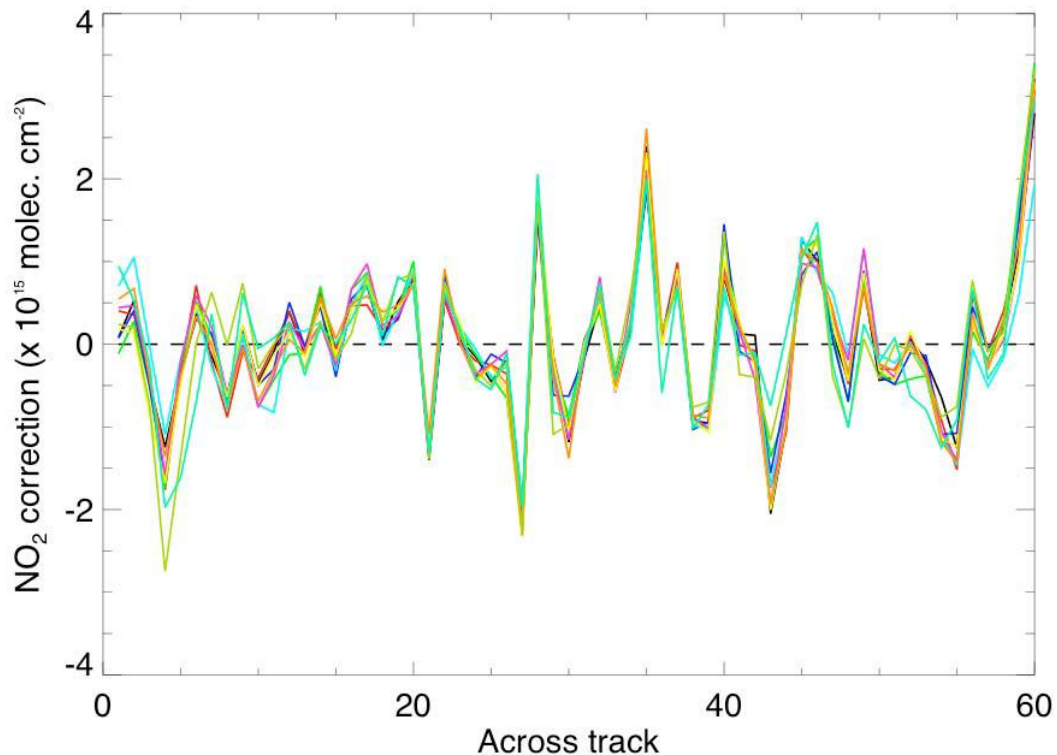
Έτσι για τους φασματογράφους *GOME* και *SCIAMACHY*, στο φασματικό παράθυρο των 425-450 nm έχουμε τα πιο ακριβή αποτελέσματα (fitting results). Για τον φασματογράφο *OMI* χρησιμοποιείται ένα μεγαλύτερο φασματικό παράθυρο που αντιστοιχεί στα 405-465 nm.

Το φάσμα απορρόφησης του  $\text{NO}_2$  (*Vandaele, 1998*) κατηγοριοποιείται για διάφορες θερμοκρασίες. Για τον υπολογισμό της ευαισθησίας μεταξύ του φάσματος απορρόφησης του  $\text{NO}_2$  με τη θερμοκρασία, υπολογίζεται μια ενεργός θερμοκρασία του  $\text{NO}_2$  της ατμόσφαιρας κατά μήκος της μέσης διαδρομής των φωτονίων. Στη συνέχεια γίνεται μια εκ των υστέρων διόρθωση μεταξύ της υπολογιζόμενης ενεργού θερμοκρασίας και αυτής του φάσματος στους 220K. Το φάσμα απορρόφησης του όζοντος λαμβάνεται από τον WMO8 (World Meteorological Organization) ενώ το Ring Spectrum από την εργασία του De Haan.

#### 4.9. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΠΙΚΛΙΝΟΥΣ ΣΤΗΛΗΣ ΤΟΥ $\text{NO}_2$

Ο αλγόριθμος NRT για τον φασματογράφο OMI χρησιμοποιεί σχεδόν την ίδια λογική με αυτή των οργάνων GOME και SCIAMACHY. Όμως οι παράμετροι εισαγωγής στο μοντέλο διαφέρουν μεταξύ του αλγορίθμου NRT για το OMI και του αλγορίθμου RAM για τα GOME και SCIAMACHY. Έχουμε επομένως διαφορετικές τιμές που προκύπτουν για το συντελεστή αέρα-μάζας (AMF) στις δύο περιπτώσεις. Αυτό, μαζί με την καλύτερη χωρική ανάλυση του OMI συγκριτικά με το GOME, αναμένεται να οδηγήσει σε διαφορετικό εύρος σφαλμάτων για το διοξείδιο του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) της τροπόσφαιρας που μετράται από το OMI απ' ότι των GOME και SCIAMACHY.

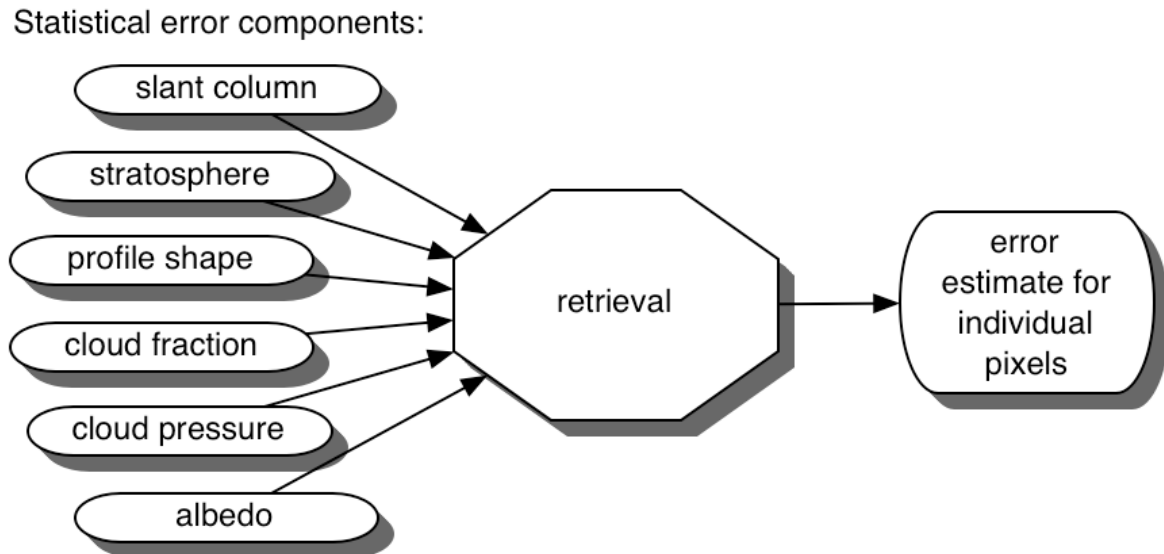
**Σχήμα 4:** Διόρθωση στις μετρήσεις του NO<sub>2</sub> λόγω μεταβολής της τροχιάς κατά τη διάρκεια των παραπάνω μετρήσεων.



#### 4.10. ΕΥΡΟΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Για να προκύψει η στήλη του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) για τη τροπόσφαιρα, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές μεταβλητές, που περιέχουν αρκετά σφάλματα. Οι μεταβλητές αυτές περιέχουν, λόγω της φύσης τους σφάλματα. Σφάλματα προκύπτουν και από τις διαφορετικές στατιστικές προσεγγίσεις (RAM, NRT) με τις οποίες γίνεται η επεξεργασία των μετρήσεων από τους διάφορους φασματογράφους.

**Σχήμα 5:** Στατιστικά σφάλματα των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία της ανάκτησης των δεδομένων, ώστε να εκτιμηθεί το ολικό σφάλμα για κάθε pixel.



## 5ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Κίνα βρίσκεται στην ανατολική Ασία. Εκτείνεται από τις 18° μέχρι τις 54ο βόρειο πλάτος και από τις 71° μέχρι 135° ανατολικό μήκος. Είναι το τρίτο έκταση κράτος με επιφάνεια 9.597.000 km<sup>2</sup>. Με πληθυσμό 1,1 δισεκατομμύρια κατοίκους η Κίνα είναι η πρώτη σε πληθυσμό χώρα της γης. Δεν υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή του πληθυσμού. Οι ανατολικές περιοχές κοντά στα παράλια έχουν ήπιο κλίμα και είναι πυκνοκατοικημένες, αντίθετα από τις δυτικές

με τις λιγότερες βροχές. Ο πληθυσμός συγκεντρώνεται στις κοιλάδες των ποταμών, στις μεγάλες πεδιάδες και στα λεκανοπέδια. Η ύπαρξη ορυκτού πλούτου δικαιολογεί τις πολλές πόλεις στη Μαντζουρία.

Η δημογραφική αύξηση του πληθυσμού κυμαίνεται στο 1,1% δηλαδή 11 εκατ. ετησίως. Από το 1963 προπαγανδίζεται ο έλεγχος των γεννήσεων. Η Κίνα βρίσκεται σε μεταβατική περίοδο, από την αγροτική κοινωνία στη βιομηχανική. Ακόμα και σήμερα το 63% του πληθυσμού είναι αγροτικός. Κύριος στόχος της κρατικής διαχείρισης είναι η επάρκεια σε είδη διατροφής του διαρκώς αυξανόμενου πληθυσμού. Σ' αυτό το ζητούμενο πρέπει να προστεθούν ακόμα η επίλυση του προβλήματος της προσφοράς θέσεων εργασίας, κυρίως στους νέους, καθώς και η βιομηχανική εξέλιξη της χώρας, και μάλιστα χωρίς να εξαρτάται από εξωτερική βοήθεια.

Η Κίνα είναι πλούσια σε ορυκτά, κυρίως σε άνθρακα, που υπάρχει παντού. Η βιομηχανία της είναι αναπτυσσόμενη. Υπάρχουν σιδηροβιομηχανίες, χαλυβουργία, ναυπηγεία, βιομηχανίες μηχανημάτων και παραγωγής χημικών προϊόντων. Τα κοιτάσματα πετρελαίου που διαθέτει την καθιστούν μια από τους μεγαλύτερους εξαγωγείς πετρελαίου του κόσμου. Παράγει επίσης σημαντικά ποσά υδροηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 5: Χάρτης Κίνας



## 5.2. ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η γρήγορη βιομηχανική ανάπτυξη της Κίνας οδήγησε στην αύξηση της ατμοσφαιρικής της ρύπανσης και την υποβάθμιση των φυσικών της πόρων. Επίσης, η ρύπανση των υδάτων της από την μη κατάλληλη εναπόθεση στερεών αποβλήτων, δημιούργησε σημαντικά προβλήματα υγείας σε μεγάλο μέρος του πληθυσμού της. Το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης προκαλεί μέχρι 750.000 πρόωρους θανάτους κάθε έτος. Σε παγκόσμια κλίμακα κατατάσσεται σαν μία από τις πιο μολυσμένες περιοχές του πλανήτη.

Η Κινέζικη ηγεσία καταβάλλει σημαντικές προσπάθειες για να μειώσει τα επίπεδα ρύπανσης της ατμόσφαιρας και να διαφυλάξει την δημόσια υγεία. Η

προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί στρατηγικό στόχο των αναπτυξιακών διαδικασιών της.

### 5.3. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σύμφωνα με την αξιολόγηση της Λαϊκής Δημοκρατίας της Κίνας, τα 2/3 των 338 πόλεων για τις οποίες τα ποιοτικά στοιχεία του αέρα είναι διαθέσιμα για αξιολόγηση είναι μολυσμένα. Οι αναπνευστικές και καρδιακές παθήσεις αποτελούν την κύρια αιτία θανάτου στην περιοχή, γεγονός που σχετίζεται άμεσα με την ποιότητα του αέρα. Επιπρόσθετα, πτώσεις όξινης βροχής μετρώνται στο 30% της χώρας. Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας έχει διαπιστώσει ότι περίπου 750.000 άνθρωποι πεθαίνουν πρόωρα κάθε έτος από τα αναπνευστικά προβλήματα στην Κίνα.

### 5.4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ

Η προστασία του περιβάλλοντος αποτελεί βασική εθνική πολιτική από τη δεκαετία του '80. Το περιβαλλοντικά ισόρροπο κράτος καθιερώθηκε από την Επιτροπή Προστασίας του Περιβάλλοντος το 1984 και ο πρώτος νόμος προστασίας του περιβάλλοντος εκδόθηκε τυπικά το 1989. Μετά από τη διάσκεψη Ηνωμένων Εθνών σχετικά με το περιβάλλον και την ανάπτυξη το 1992, η Κίνα ήταν μια από τις πρώτες χώρες που διατύπωσε μια στρατηγική εφαρμογής βιώσιμης ανάπτυξης. Μέχρι τώρα, το κράτος έχει θεσπίσει οκτώ νόμους για την προστασία του περιβάλλοντος, 14 νόμους για τη διαχείριση των φυσικών πόρων και 35 κανονισμούς σχετικά με την προστασία του

περιβάλλοντος. Οι αρχές προστασίας του περιβάλλοντος έχουν κοινοποιήσει πάνω από 100 εθνικούς κανονισμούς προστασίας του περιβάλλοντος και περισσότερες από 1.000 τοπικούς.

Στόχος της ανάπτυξης θεωρείται η κίνηση προς τον οικολογικό βιομηχανικό πολιτισμό και τη δημιουργία ενός ισορροπημένου οικολογικού περιβάλλοντος.

## 5.5. ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η κυβέρνηση έχει αυξήσει βαθμιαία το ποσοστό του ΑΕΠ που διατίθεται στην προστασία του περιβάλλοντος από 0.72 % το 1989 σε 1.33 % το 2003. Μεταξύ 1998 και 2002, 580 δισεκατομμύρια γυαφ επενδύθηκαν στην προστασία του περιβάλλοντος και τις οικολογικές κατασκευές ( 1.8 φορές η συνολική επένδυση σε αυτήν την περιοχή για τα 48 έτη μεταξύ 1950 και 1997). Το 2003, 136.34 δισεκατομμύρια γυαφ επενδύθηκαν στην επεξεργασία της περιβαλλοντικής ρύπανσης, (23.2 % περισσότερο απ' ό, τι το 2002). Από τη συνολική επένδυση, 78.53 δισεκατομμύρια γυαφ χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή της περιβαλλοντικής υποδομής στις αστικές περιοχές, 18.84 δισεκατομμύρια γυαφ στην επεξεργασία των πηγών βιομηχανικής ρύπανσης, και 38.97 δισεκατομμύρια γυαφ στην προστασία του περιβάλλοντος στα νέα κατασκευαστικά προγράμματα .

Μέχρι τώρα, η βιομηχανία προστασίας του περιβάλλοντος της Κίνας έχει αυξηθεί σε ένα μέσο ετήσιο ποσοστό 17 %, ξεπερνώντας μακράν τη γενική οικονομία. Το 2002, η αξία παραγωγής της βιομηχανίας προστασίας

του περιβάλλοντος της Κίνας έφθασε 220 δισεκατομμύρια σε γυα, έναντι 4 δισεκατομμύρια γυα το 1992. Αυτή τη στιγμή, οι επιχειρήσεις προστασίας του περιβάλλοντος της Κίνας βρίσκονται κυρίως στις αναπτυγμένες περιοχές κατά μήκος της ακτής και των ποταμών της ανατολικής Κίνας.

## 5.6. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ

Οι πέντε πιο φιλικές προς το περιβάλλον πόλεις της Κίνας θεωρούνται: (α) Χαϊκου, (β) Zhuhai, (γ) Zhanjiang, (δ) Guilin, (ε) Beihai. Οι πέντε πόλεις τις Κίνας με τον αποτελεσματικότερο έλεγχο ρύπανσης είναι: (α) Nantong, (β) Lianyungang, (γ) Shenyang, (δ) Suzhou, (ε) Fuzhou. Και οι 10 πόλεις την χειρότερη ατμοσφαιρική ποιότητα είναι: (α) Linfen, (β) Yangquan, (γ) Datong, (δ) Shizuishan, (ε) Sanmenxia, (στ) Jinchang, (ζ) Shijiazhuang, (η) Xianyang, (θ) Zhuzhou, (ι) Luoyang.

## **6ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ**

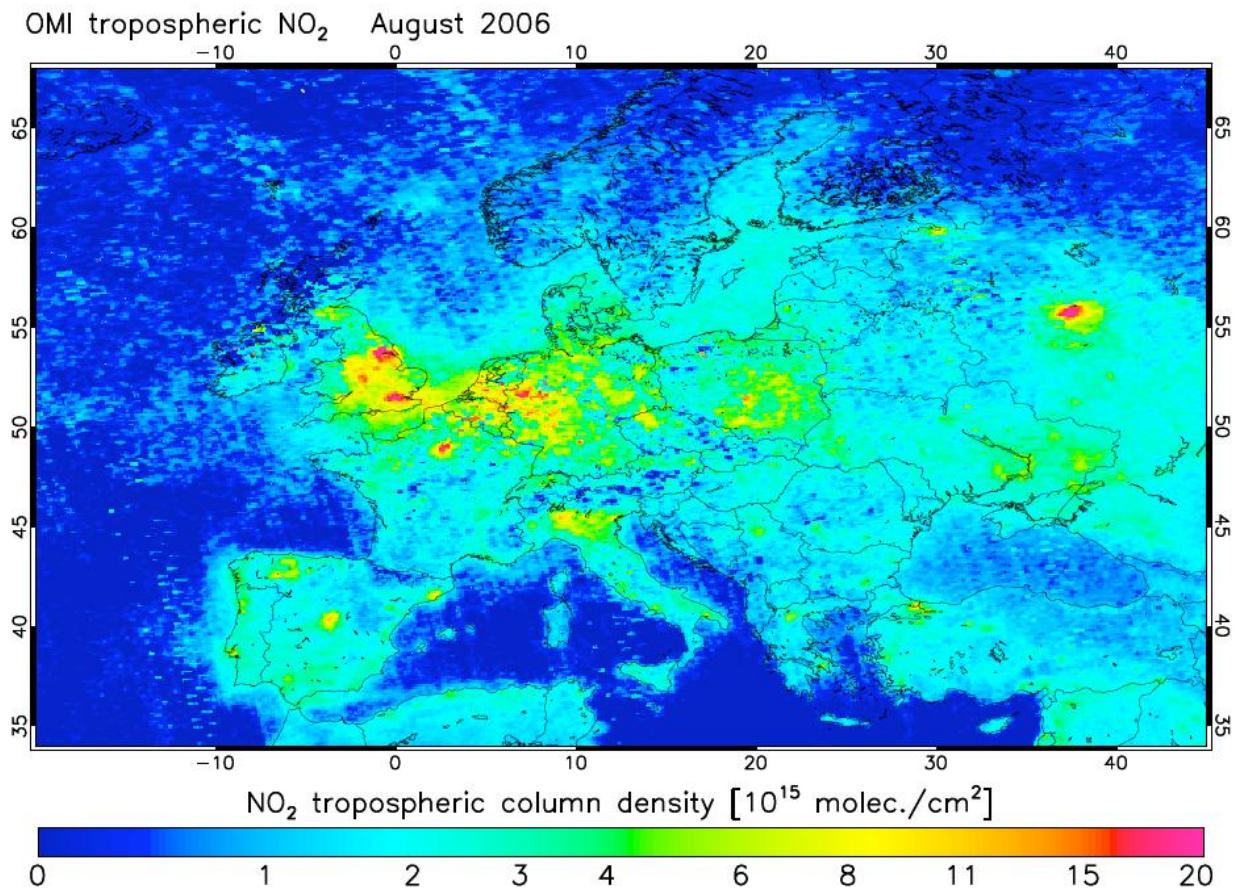
### 6.1. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι μετρήσεις της παρούσας εργασίας αφορούν τις περιοχές γύρω από τη Shanghai (31°12'0"N 121°30'0"E) και την πρωτεύουσα της Κίνας, το Πεκίνο (Beijing 39°54'50"N 116°23'30"E).

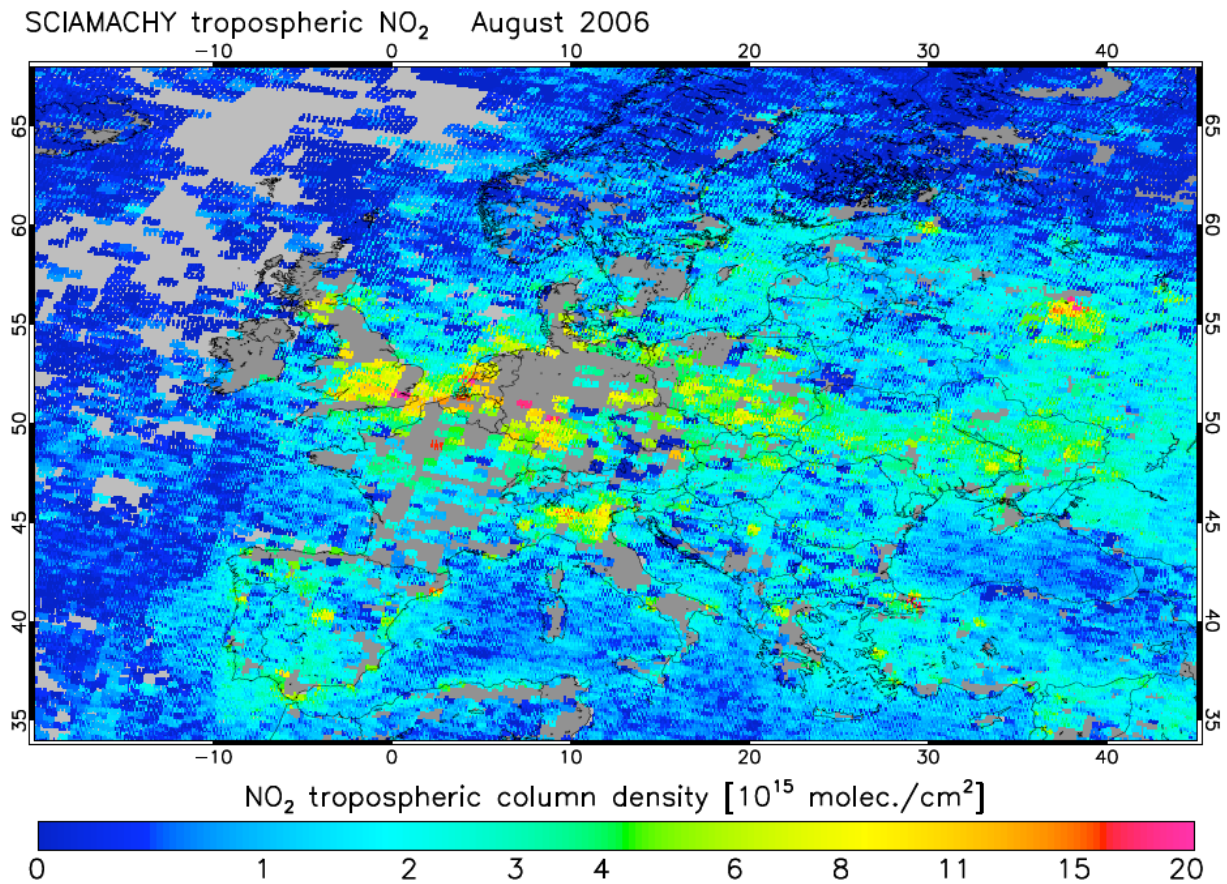
Τα δεδομένα προέρχονται μετά από επεξεργασία των τιμών που διατίθενται στο διαδίκτυο στην ιστοσελίδα:

<http://www.temis.nl/airpollution/no2.html>.

**Εικόνα 6:** Μέσες μηνιαίες τιμές για το μήνα Αύγουστο 2006 του NO<sub>2</sub> όπως προέκυψαν από το OMI.



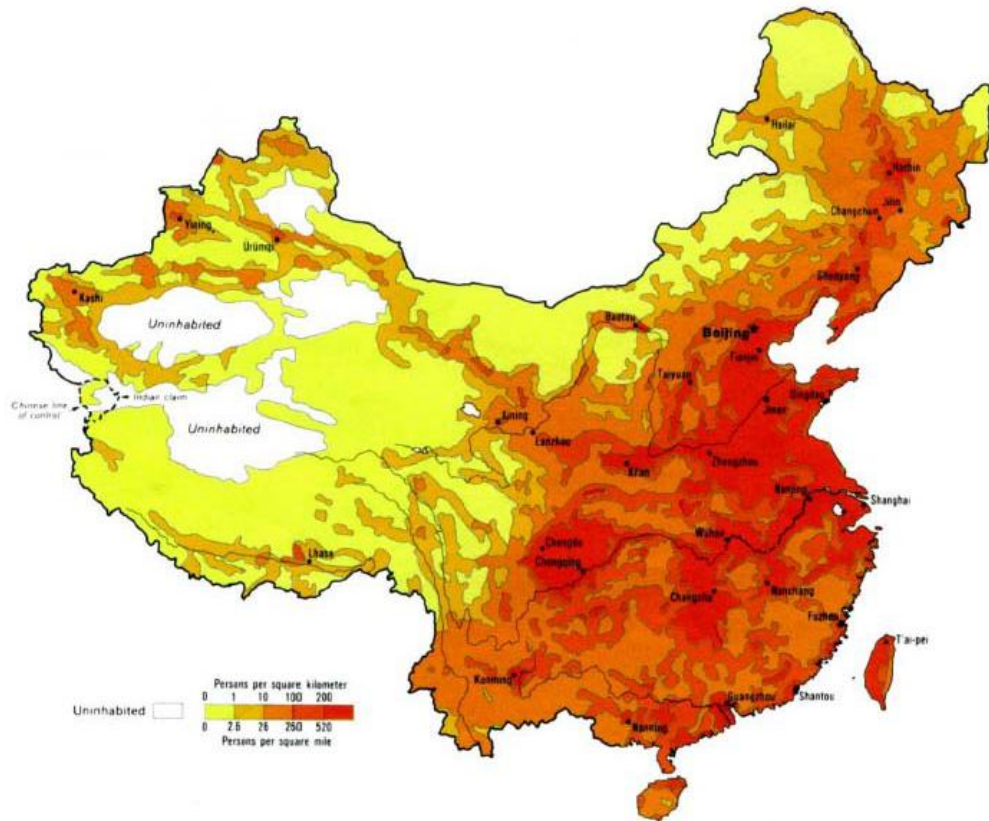
**Εικόνα 7:** Μέσες μηνιαίες τιμές για το μήνα Αύγουστο 2006 του NO<sub>2</sub> όπως προέκυψαν από το SCIAMACHY



Η Κίνα είναι σήμερα μια από τις ταχύτατα αναπτυσσόμενες οικονομίες του κόσμου. Οι τάσεις των εκπομπών αέριων ρύπων στη χώρα αυτή, προσελκύει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον αφού καταδεικνύει την συσχέτιση της οικονομικής ανάπτυξης με τις περιβαλλοντικές απειλές (ή και την περιβαλλοντική υποβάθμιση). Οι *Wang and McElroy (2004)*, μελέτησαν την αύξηση των περιβαλλοντικών ρύπων ως απόρροια της ανάπτυξης της βιομηχανίας και των μεταφορών.

Το ανατολικό τμήμα της Κίνας παρουσιάζει μεγαλύτερη συγκέντρωση αέριων ρύπων γεγονός αναμενόμενο αφού πρόκειται για το περισσότερο πυκνοκατοικημένο αλλά και βιομηχανικά ανεπτυγμένο τμήμα της χώρας.

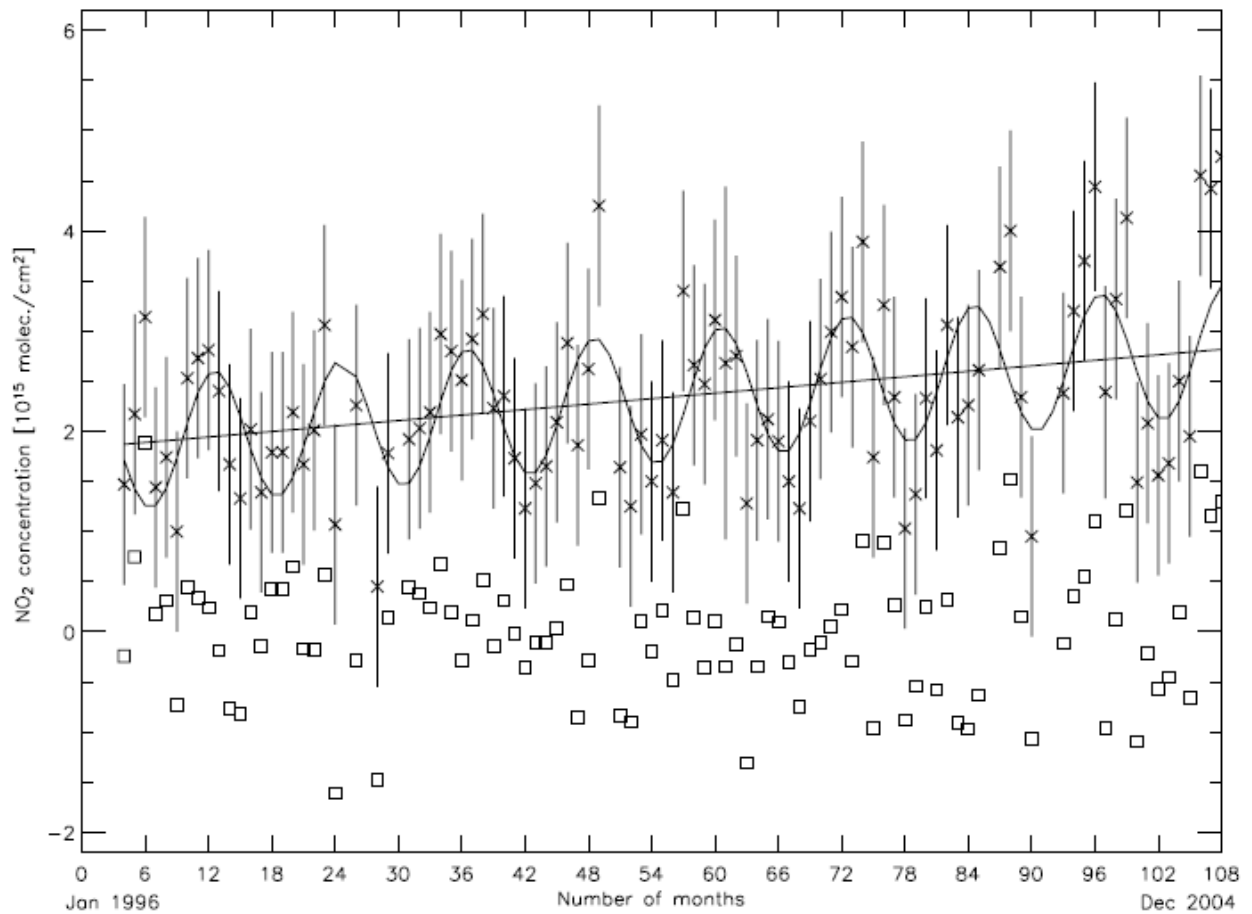
Εικόνα 8: Χάρτης στο οποίο παρουσιάζεται η πληθυσμιακή πυκνότητα στη Κίνα.



Ο *Van der A et al. (2006)*, μελετώνται οι τάσεις των εκπομπών του διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) πάνω από τη Κίνα για τη περίοδο 1996-2005, συμπέρανε ότι ο συνδυασμός των ευμετάβλητων καιρικών συνθηκών μαζί με τις χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη τροπόσφαιρα οδηγούν σε μια εποχικότητα ως προς τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) πάνω από αυτή την περιοχή. Αναλυτικότερα εντόπισε μεγαλύτερες τιμές συγκεντρώσεων κατά τους χειμερινούς μήνες, πάνω από περιοχές με έντονες ανθρωπογενείς δραστηριότητες και συνεπώς αυξημένες εκπομπές ρύπων. Επίσης διαπιστώνεται ότι τα μέγιστα των συγκεντρώσεων για το δυτικό κομμάτι κατά τη διάρκεια του καλοκαιρινών μηνών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο

δυτικό τμήμα της χώρας, το οποίο είναι και το πιο αραιοκατοικημένο, δεν υπάρχει έντονη ανθρωπογενής δραστηριότητα και έτσι η κύρια πηγή διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ), οφείλεται σε φυσικά αίτια, όπως εκπομπές λόγω μικροβιολογικών διεργασιών στο χώμα και από τις αστραπές. Οι εγκαταστάσεις θέρμανσης των κτιρίων θεωρούνται επιπρόσθετη πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης με αυξημένες τιμές κατά τους χειμερινούς μήνες (*Streets et al. 2003*).

**Σχήμα 6:** Χρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) της τροπόσφαιρας για τη περιοχή της Γι'αν στη Κίνα.





Για την πόλη του Πεκίνου σύμφωνα πάντα με τον *Van der A*, Η μέση συγκέντρωση NO<sub>2</sub> το 1996 ήταν  $11,6 \times 10^{15} \text{ molec/cm}^2$ , με ετήσια αύξηση για την ίδια χρονιά κατά (10±4)%, ενώ για τη περιοχή της Σαγκάης οι συγκεντρώσεις του NO<sub>2</sub> για το 1996 ήταν  $6,7 \times 10^{15} \text{ molec/cm}^2$ , με ετήσια αύξηση περίπου (20±5)% (*Van der A*, 2006). Ο μεγαλύτερος ρυθμός αύξησης για τη περιοχή της Σαγκάης αποδίδεται στο γεγονός ότι η πόλη αυτή αποτελεί το οικονομικό κέντρο της Κίνας με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα, διαθέτοντας ένα από τα μεγαλύτερα λιμάνια.

**Πίνακας 4:** Μέσες μηνιαίες τιμές για την περιοχή του Πεκίνου (Οκτ.2004-Αύγ.2010).

<b>Beijing</b>					
	Trop.NO <sub>2</sub> (10 <sup>15</sup> molec/cm <sup>2</sup> )		Trop.NO <sub>2</sub> (10 <sup>15</sup> molec/cm <sup>2</sup> )		Trop.NO <sub>2</sub> (10 <sup>15</sup> molec/cm <sup>2</sup> )
<i>October 2004</i>	25,83723	<i>October 2006</i>	21,74053	<i>October 2008</i>	19,2351
<i>November 2004</i>	31,18836	<i>November 2006</i>	36,47651	<i>November 2008</i>	27,4493
<i>December 2004</i>	44,46962	<i>December 2006</i>	48,17511	<i>December 2008</i>	30,41453
<i>January 2005</i>	29,04494	<i>January 2007</i>	45,24522	<i>January 2009</i>	31,48149
<i>February 2005</i>	31,39133	<i>February 2007</i>	31,67941	<i>February 2009</i>	37,26425
<i>March 2005</i>	25,11062	<i>March 2007</i>	25,75029	<i>March 2009</i>	23,4299
<i>April 2005</i>	17,63492	<i>April 2007</i>	20,82846	<i>April 2009</i>	14,40769
<i>May 2005</i>	15,45485	<i>May 2007</i>	13,70749	<i>May 2009</i>	12,24274
<i>June 2005</i>	12,47154	<i>June 2007</i>	14,6771	<i>June 2009</i>	9,740795
<i>July 2005</i>	9,283366	<i>July 2007</i>	10,9546	<i>July 2009</i>	9,76994
<i>August 2005</i>	12,20372	<i>August 2007</i>	10,69117	<i>August 2009</i>	12,43951
<i>September 2005</i>	14,73685	<i>September 2007</i>	14,57471	<i>September 2009</i>	14,24582
<i>October 2005</i>	23,04706	<i>October 2007</i>	23,55095	<i>October 2009</i>	18,18386
<i>November 2005</i>	31,38895	<i>November 2007</i>	34,87887	<i>November 2009</i>	45,88204
<i>December 2005</i>	25,11764	<i>December 2007</i>	45,98509	<i>December 2009</i>	59,96852
<i>January 2006</i>	43,36768	<i>January 2008</i>	35,48957	<i>January 2010</i>	51,30996
<i>February 2006</i>	34,71264	<i>February 2008</i>	21,43672	<i>February 2010</i>	31,4911
<i>March 2006</i>	23,99939	<i>March 2008</i>	28,42878	<i>March 2010</i>	28,1269
<i>April 2006</i>	22,09414	<i>April 2008</i>	21,63202	<i>April 2010</i>	21,11066
<i>May 2006</i>	15,54834	<i>May 2008</i>	15,8907	<i>May 2010</i>	15,48373
<i>June 2006</i>	14,12579	<i>June 2008</i>	12,92603	<i>June 2010</i>	13,38742
<i>July 2006</i>	10,47851	<i>July 2008</i>	6,824167	<i>July 2010</i>	10,32848
<i>August 2006</i>	11,37648	<i>August 2008</i>	6,810883	<i>August 2010</i>	11,76389
<i>September 2006</i>	16,72391	<i>September 2008</i>	9,352228		

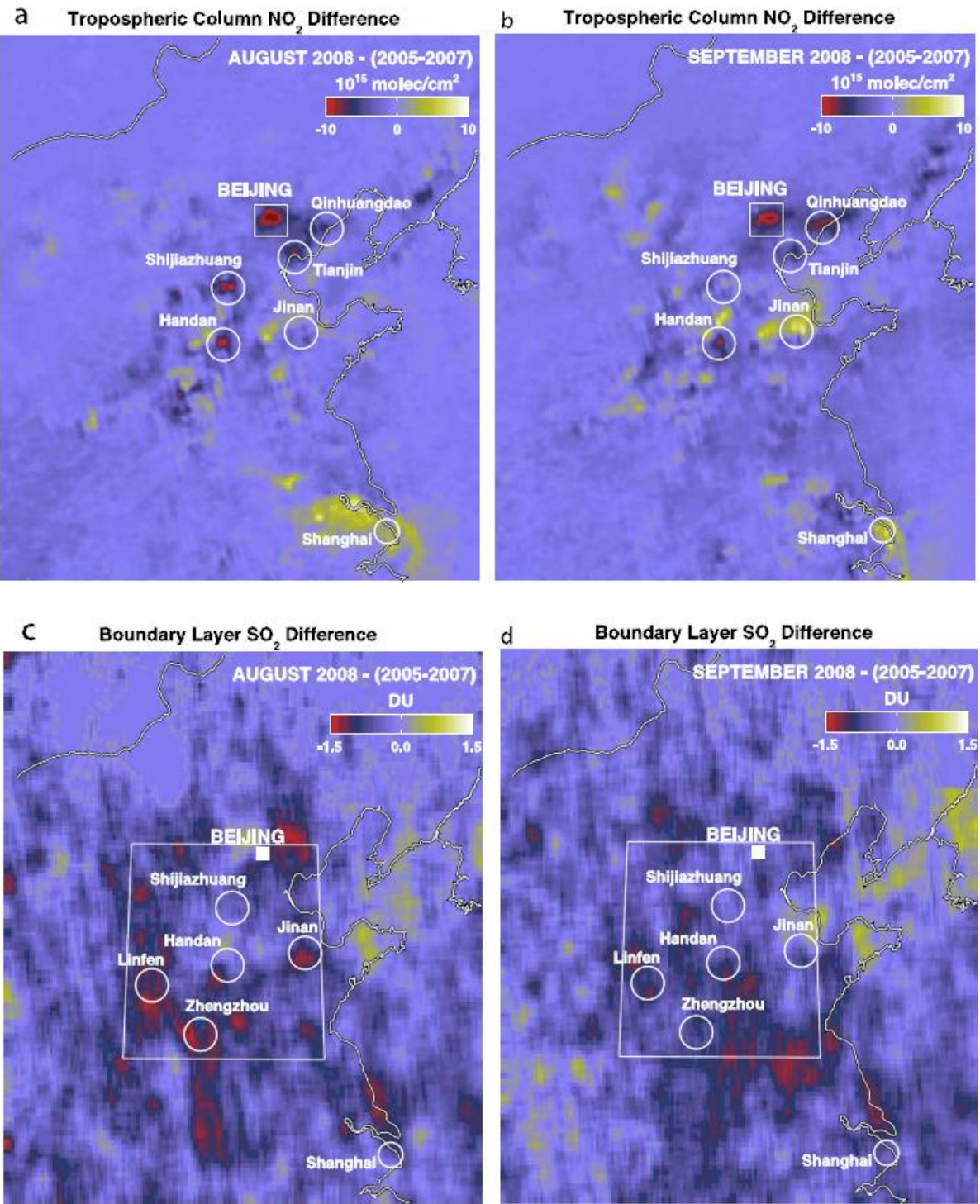
Πίνακας 5: Μέσες μηνιαίες τιμές για την περιοχή της Σαγκάης (Οκτ.2004-Αύγ.2010).

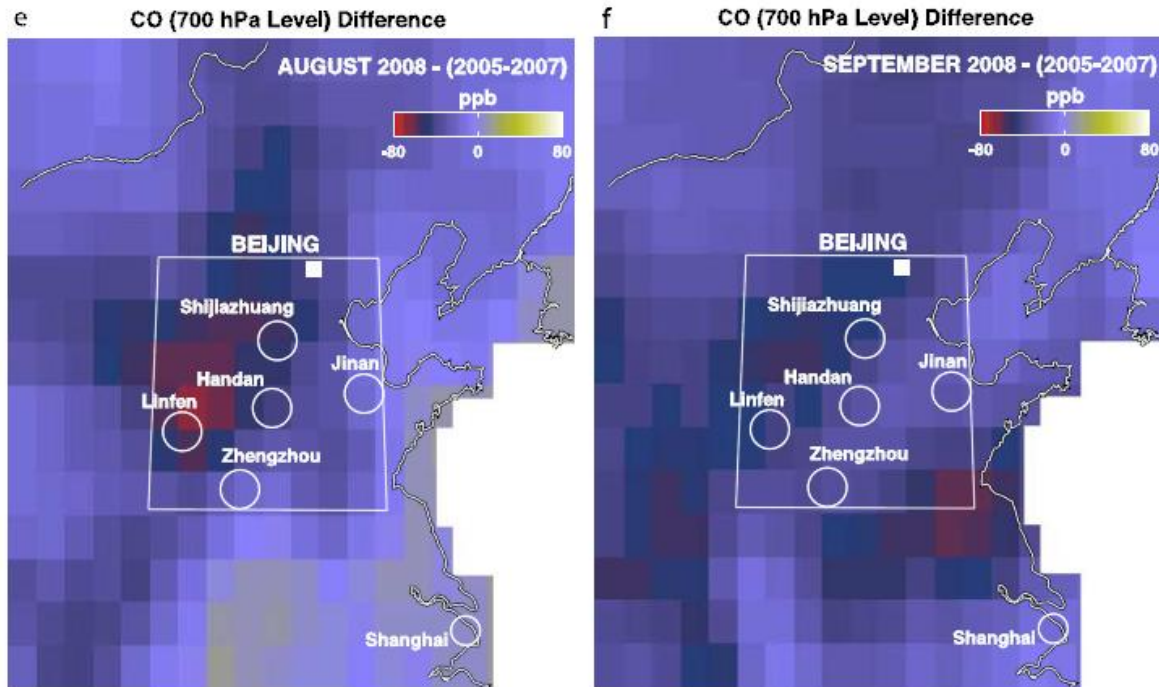
<b>Shanghai</b>					
	<b>Trop.NO2</b> <b>(10<sup>15</sup> molec/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>Trop.NO2</b> <b>(10<sup>15</sup> molec/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>Trop.NO2</b> <b>(10<sup>15</sup> molec/cm<sup>3</sup>)</b>
<i>October 2004</i>	<i>4,504578</i>	<i>October 2006</i>	<i>7,372903</i>	<i>October 2008</i>	<i>8,172316</i>
<i>November 2004</i>	<i>23,26245</i>	<i>November 2006</i>	<i>15,36686</i>	<i>November 2008</i>	<i>16,47314</i>
<i>December 2004</i>	<i>14,17539</i>	<i>December 2006</i>	<i>12,78847</i>	<i>December 2008</i>	<i>16,85137</i>
<i>January 2005</i>	<i>14,32285</i>	<i>January 2007</i>	<i>18,76491</i>	<i>January 2009</i>	<i>14,28892</i>
<i>February 2005</i>	<i>7,980208</i>	<i>February 2007</i>	<i>13,12</i>	<i>February 2009</i>	<i>10,46254</i>
<i>March 2005</i>	<i>15,80663</i>	<i>March 2007</i>	<i>8,895913</i>	<i>March 2009</i>	<i>8,072654</i>
<i>April 2005</i>	<i>17,64612</i>	<i>April 2007</i>	<i>14,53879</i>	<i>April 2009</i>	<i>9,172834</i>
<i>May 2005</i>	<i>9,435211</i>	<i>May 2007</i>	<i>14,63492</i>	<i>May 2009</i>	<i>10,48521</i>
<i>June 2005</i>	<i>9,378935</i>	<i>June 2007</i>	<i>10,23476</i>	<i>June 2009</i>	<i>12,93832</i>
<i>July 2005</i>	<i>10,77262</i>	<i>July 2007</i>	<i>16,23638</i>	<i>July 2009</i>	<i>9,431838</i>
<i>August 2005</i>	<i>9,555263</i>	<i>August 2007</i>	<i>6,969083</i>	<i>August 2009</i>	<i>8,01047</i>
<i>September 2005</i>	<i>7,051794</i>	<i>September 2007</i>	<i>5,391905</i>	<i>September 2009</i>	<i>4,25082</i>
<i>October 2005</i>	<i>8,806508</i>	<i>October 2007</i>	<i>8,598398</i>	<i>October 2009</i>	<i>8,14588</i>
<i>November 2005</i>	<i>16,8256</i>	<i>November 2007</i>	<i>8,939474</i>	<i>November 2009</i>	<i>17,78617</i>
<i>December 2005</i>	<i>19,7974</i>	<i>December 2007</i>	<i>14,62485</i>	<i>December 2009</i>	<i>21,71439</i>
<i>January 2006</i>	<i>13,70975</i>	<i>January 2008</i>	<i>16,50362</i>	<i>January 2010</i>	<i>21,08889</i>
<i>February 2006</i>	<i>11,05791</i>	<i>February 2008</i>	<i>14,21661</i>	<i>February 2010</i>	<i>11,81596</i>
<i>March 2006</i>	<i>15,54378</i>	<i>March 2008</i>	<i>17,16825</i>	<i>March 2010</i>	<i>10,00988</i>
<i>April 2006</i>	<i>14,19888</i>	<i>April 2008</i>	<i>16,60162</i>	<i>April 2010</i>	<i>10,93826</i>
<i>May 2006</i>	<i>13,33017</i>	<i>May 2008</i>	<i>19,31667</i>	<i>May 2010</i>	<i>10,72385</i>
<i>June 2006</i>	<i>15,24884</i>	<i>June 2008</i>	<i>12,54153</i>	<i>June 2010</i>	<i>11,2813</i>
<i>July 2006</i>	<i>9,793694</i>	<i>July 2008</i>	<i>13,36874</i>	<i>July 2010</i>	<i>11,02419</i>
<i>August 2006</i>	<i>7,786081</i>	<i>August 2008</i>	<i>11,77172</i>	<i>August 2010</i>	<i>12,9</i>
<i>September 2006</i>	<i>5,137844</i>	<i>September 2008</i>	<i>7,998404</i>		

## 6.2. ΚΙΝΑ ΚΑΙ ΟΛΥΜΠΙΑΚΟΙ ΑΓΩΝΕΣ

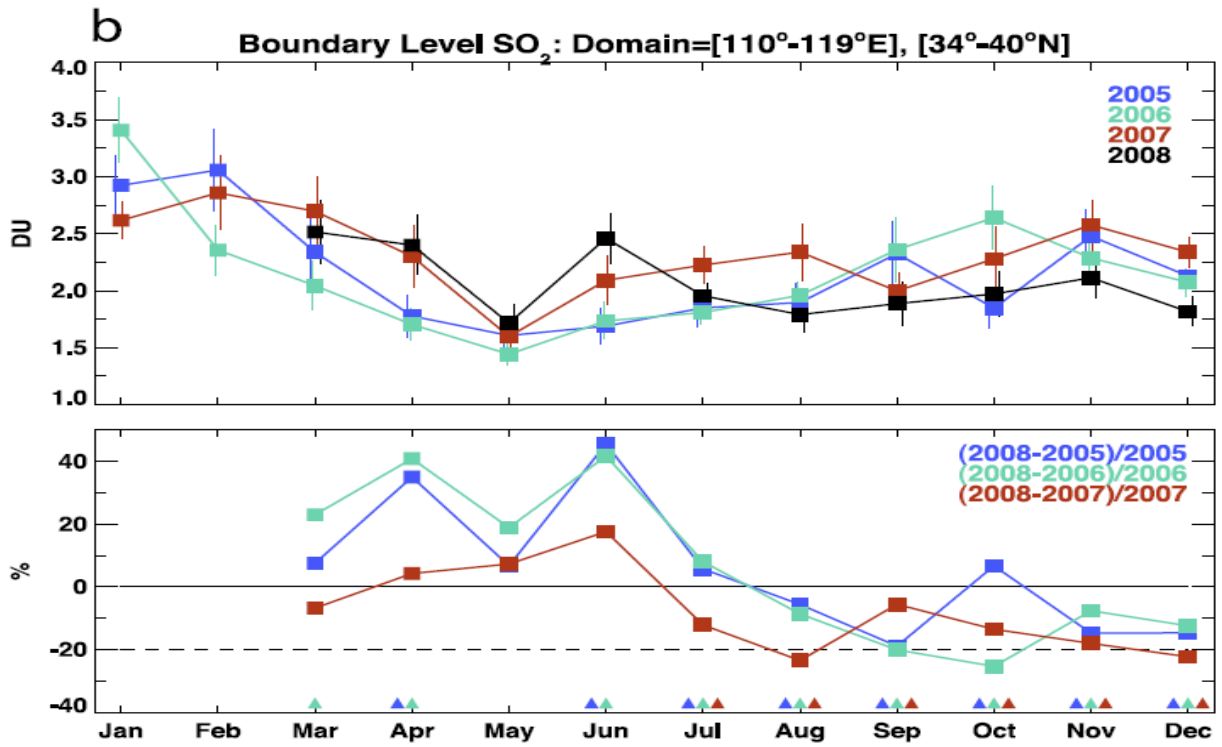
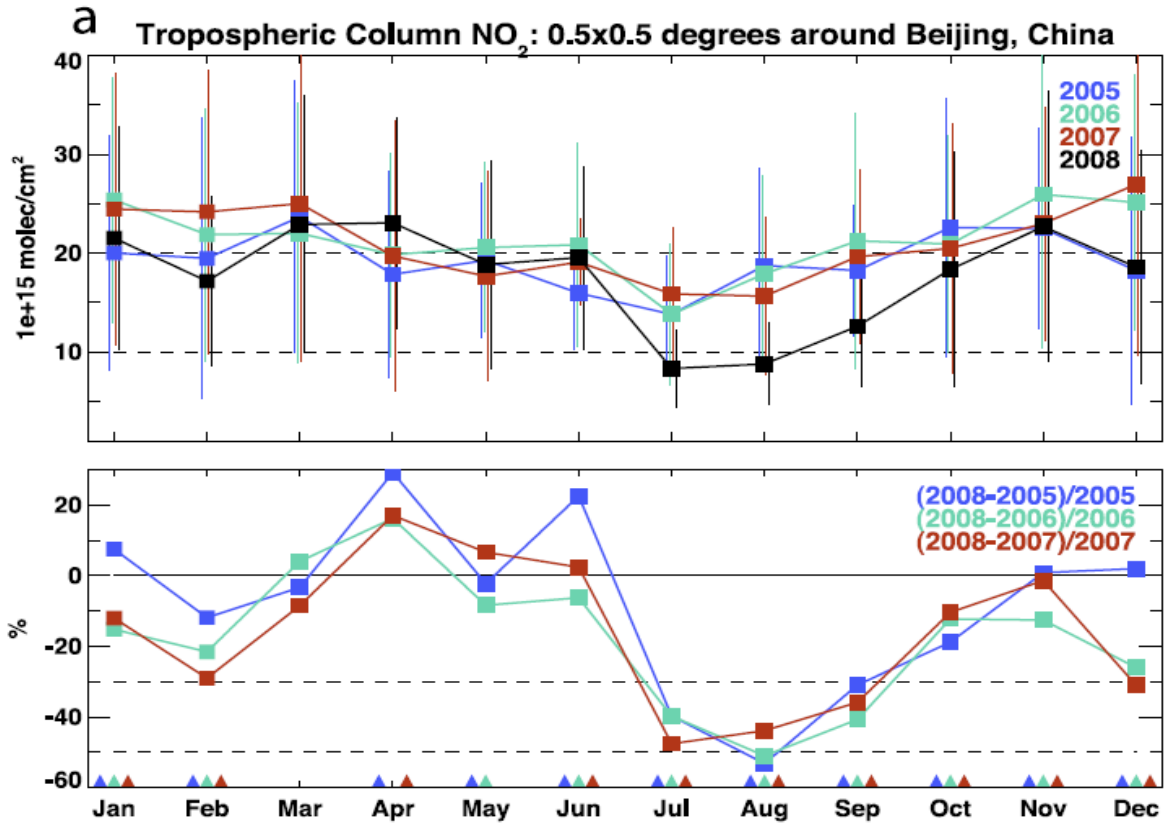
Εξετάζουμε διαφορετικά τις μετρήσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην περιοχή της Κίνας κατά την περίοδο του 2008 που πραγματοποιήθηκαν οι Ολυμπιακοί αγώνες στο Πεκίνο, διότι εφαρμόστηκαν μέτρα αυστηρά προστατευτικά ως προς το περιβάλλον, με αποτέλεσμα η ατμοσφαιρική ρύπανση να μειωθεί σημαντικά. Πολλά εργοστάσια διέκοψαν τις εργασίες τους

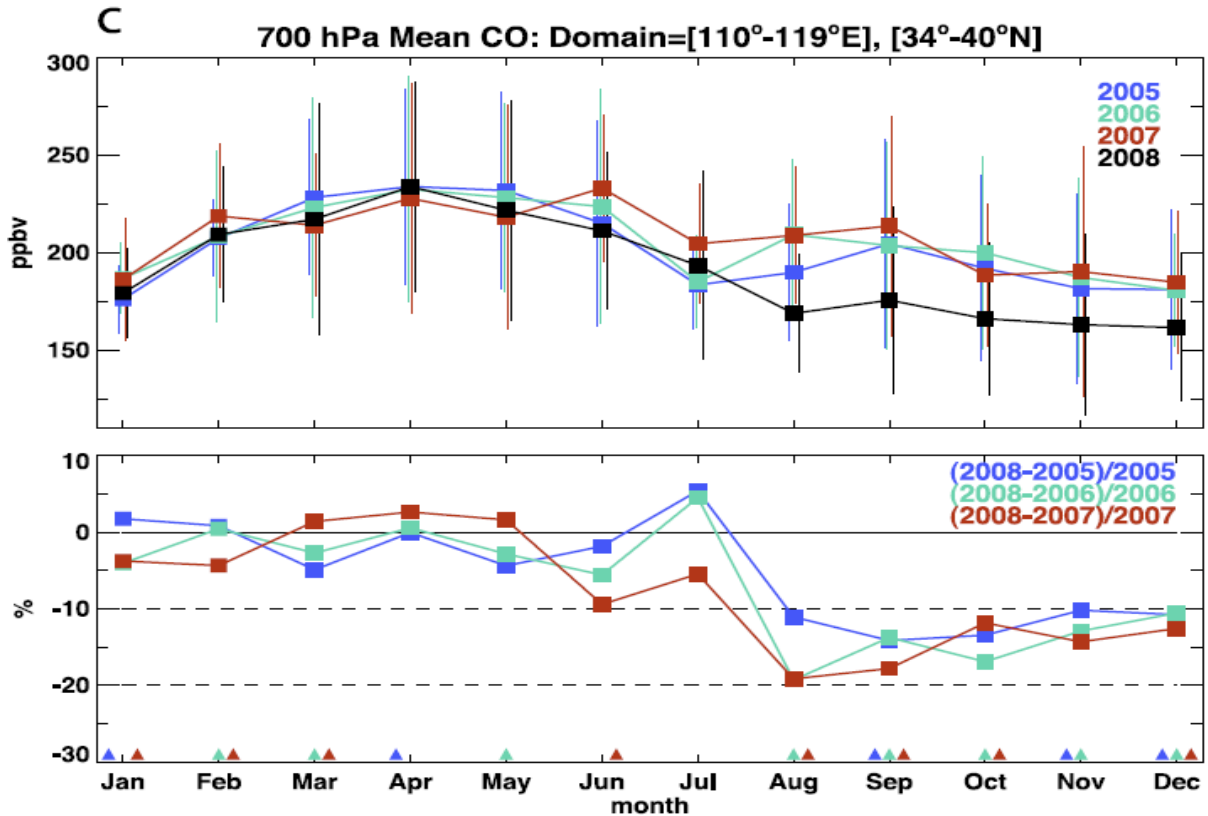
εκείνη την περίοδο ώστε να μειωθούν οι εκπομπές βλαβερών αέριων καυσίων στην ατμόσφαιρα.





Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, οι μετρήσεις  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  είναι χαμηλότερες πάνω από το Πεκίνο και τις γειτονικές επαρχίες προς το νότο κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων (Αύγουστος και Σεπτέμβριος 2008) από το μέσο όρο των τριών τελευταίων ετών.





Από την ανάλυση των παραπάνω μετρήσεων διαπιστώνουμε ότι οι συγκεντρώσεις των αερίων ρύπων κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών αγώνων του Πεκίνου, μειώθηκαν σημαντικά . Αυτό οφείλεται στα αυστηρά μέτρα για τον έλεγχο της ρύπανσης που λήφθηκαν ώστε να μειωθούν οι εκπομπές και να βελτιωθούν τα πρότυπα ποιότητας του αέρα στην περιοχή.

Οι μετρήσεις OMI και MOPITT κατά τη διάρκεια Ιουλίου- Σεπτεμβρίου 2008 δείχνουν μειώσεις της τάξης του 43% σε πάνω από το Πεκίνο σε εκπομπές NO<sub>2</sub>, και 13% σε SO<sub>2</sub> σε σύγκριση με τα προηγούμενα χρόνια για τους ίδιους μήνες.

### 6.3. ΣΥΝΟΨΗ

Η μελέτη βασίστηκε σε μετρήσεις της χρονικής περιόδου Οκτωβρίου 2004-Αυγούστου 2010, όπου έγινε εκτίμηση των επιπέδων των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) της τροπόσφαιρας, στις περιοχές του Πεκίνου και της Σαγκάης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταδεικνύουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ταχύτατης ανάπτυξης σε οικονομικό, βιομηχανικό και κοινωνικό επίπεδο στην περιοχή της Κίνας.

Σταθερή περίπου τάση ως προς τον κύκλο του διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ), βρέθηκε και για τις περιοχές του Πεκίνου και της Σαγκάης, με υψηλές μέσες συγκεντρώσεις. Η μέση τιμή στο Πεκίνο είναι  $23,2 \times 10^{15} \text{ molec/cm}^2$ , ενώ για τη Σαγκάη,  $12,35 \times 10^{15} \text{ molec/cm}^2$ . Οι τιμές είναι αυξημένες κατά 50% περίπου απ' ότι το 1996, γεγονός που καταδεικνύει την έντονη οικονομική ανάπτυξη των περιοχών αυτών.

Όπως έχει εκτιμηθεί, η πόλη του Πεκίνου και οι γύρω περιοχές του παρουσιάζουν τα υψηλότερα επίπεδα  $\text{NO}_2$ , γεγονός που δικαιολογείται από την έντονη οικονομική και βιομηχανική ανάπτυξη της εν λόγω περιοχής. Στη Σαγκάη παρατηρείται μια σταθερή τάση αύξησης των επιπέδων του διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ).

## **7ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΣΥΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η ανάγκη ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε ταχέως αναπτυσσόμενες περιοχές όπως η Κίνα γίνεται εμφανής στην παρούσα μελέτη. Ο έλεγχος των εκπομπών  $\text{NO}_2$  και  $\text{SO}_2$  θεωρείται ζωτικής σημασίας τόσο για την

ισόρροπη ανάπτυξη και προστασία των περιοχών αυτών, όσο και για την βιωσιμότητα του πλανήτη σε παγκόσμιο επίπεδο.

Οι μετρήσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων και οι μελέτες αξιολόγησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στοχεύουν στην κατάδειξη του προβλήματος και την επισήμανση της αναγκαιότητας για εξεύρεση βιώσιμων λύσεων. Η περιβαλλοντική διαχείριση της ανάπτυξης και ο περιορισμός των ανθρωπογενών ρυπογόνων δραστηριοτήτων θεωρείται αναγκαιότητα.

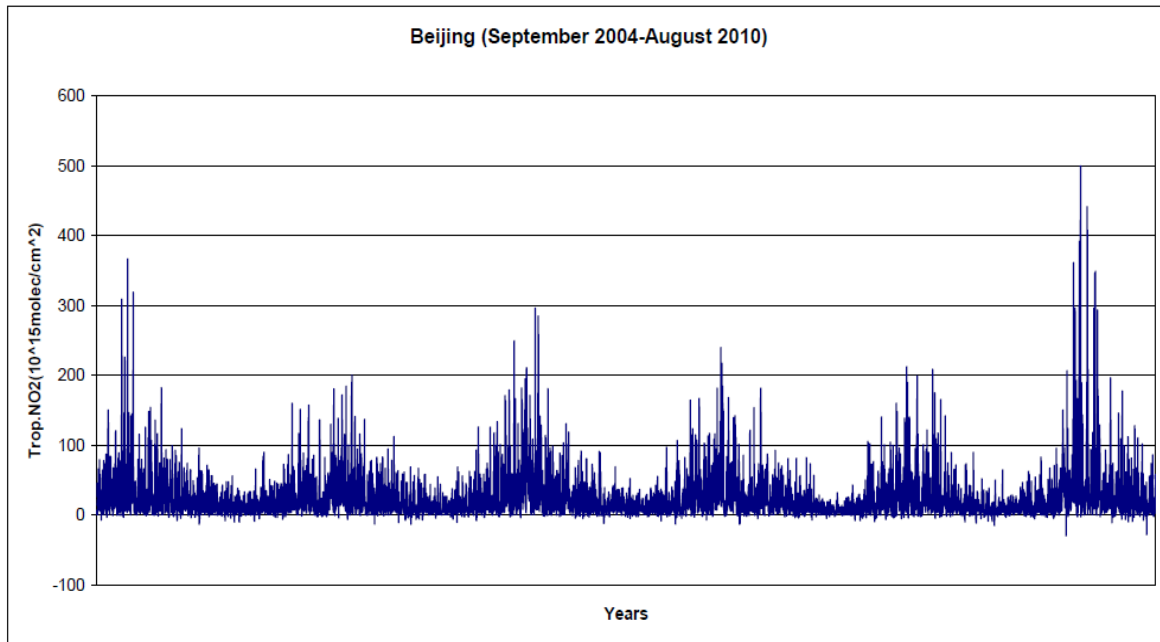
Η Κίνα εφάρμοσε μια σειρά από περιβαλλοντικές πολιτικές και μέτρα, χωρίς όμως να συναντήσει τους στόχους αειφορίας που εξ αρχής έθεσε. Τα γεγονότα αυτό επιτάσσει δραστικότερα μέτρα και πολιτικές περιβαλλοντικής προστασίας. Η επιστημονική έρευνα έχει καταδείξει το πρόβλημα και η ηγεσία καλείται να οργανώσει ένα στρατηγικό σχέδιο περιβαλλοντικής προστασίας που να συμπορεύεται της οικονομικής και βιομηχανικής ανάπτυξης των αναπτυσσόμενων περιοχών. Ο περιορισμός των αέριων ρύπων και η ατμοσφαιρική εξυγίανση αποτελούν ζητούμενα.



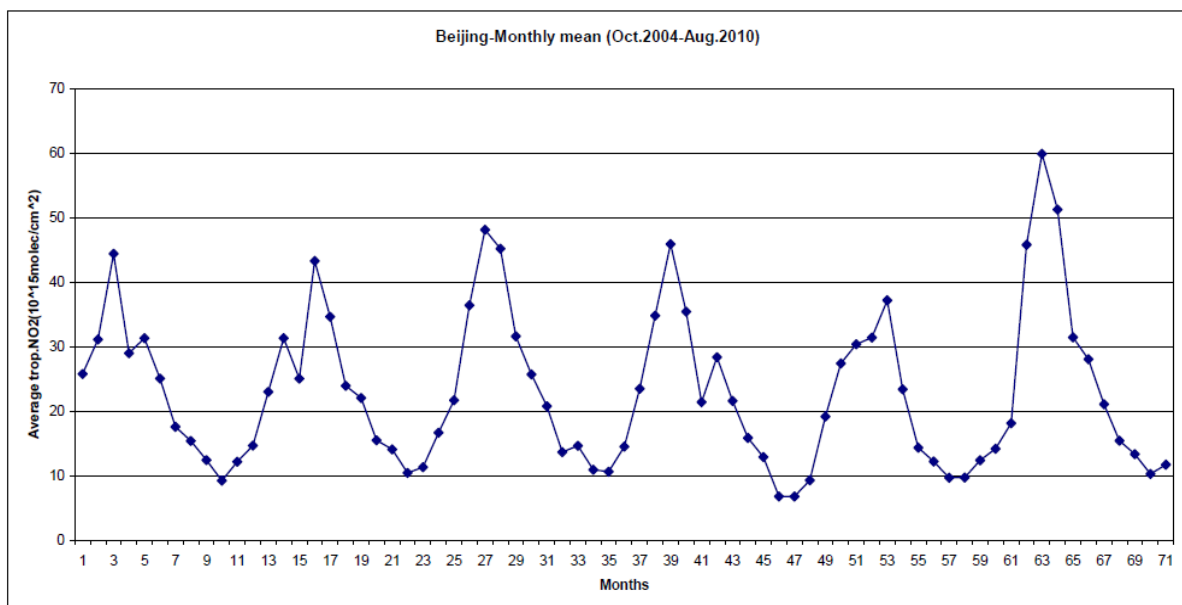
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

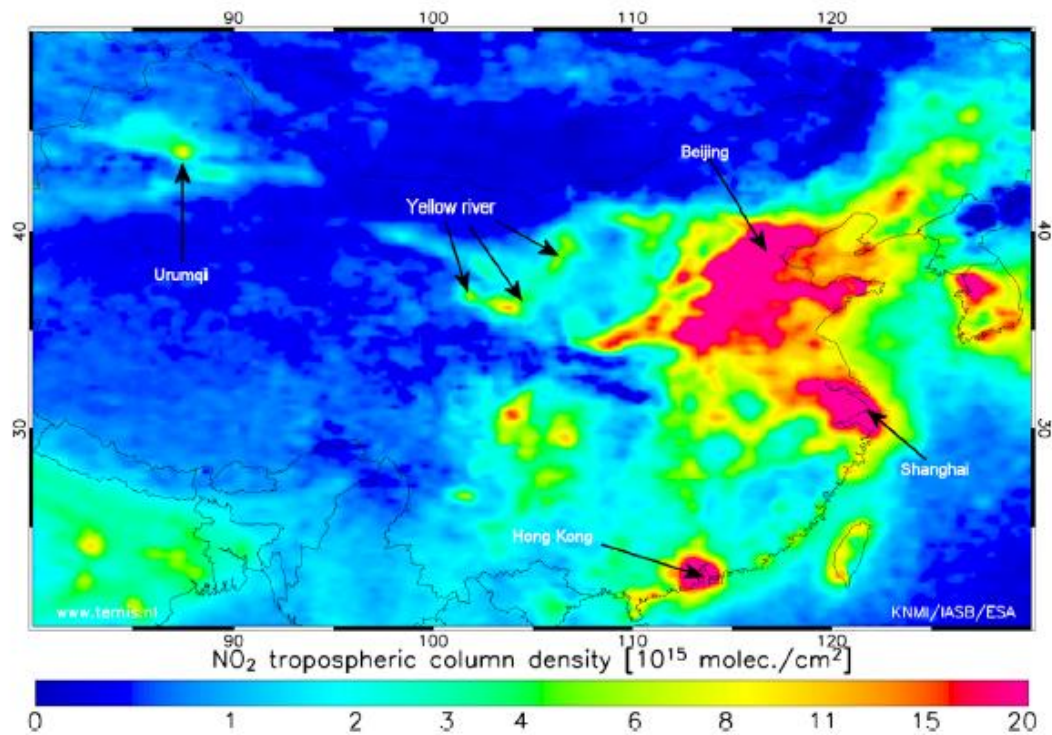
Χρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων του NO<sub>2</sub> πάνω από την περιοχή του Πεκίνου (Οκτ.2004-Αύγ.2010).



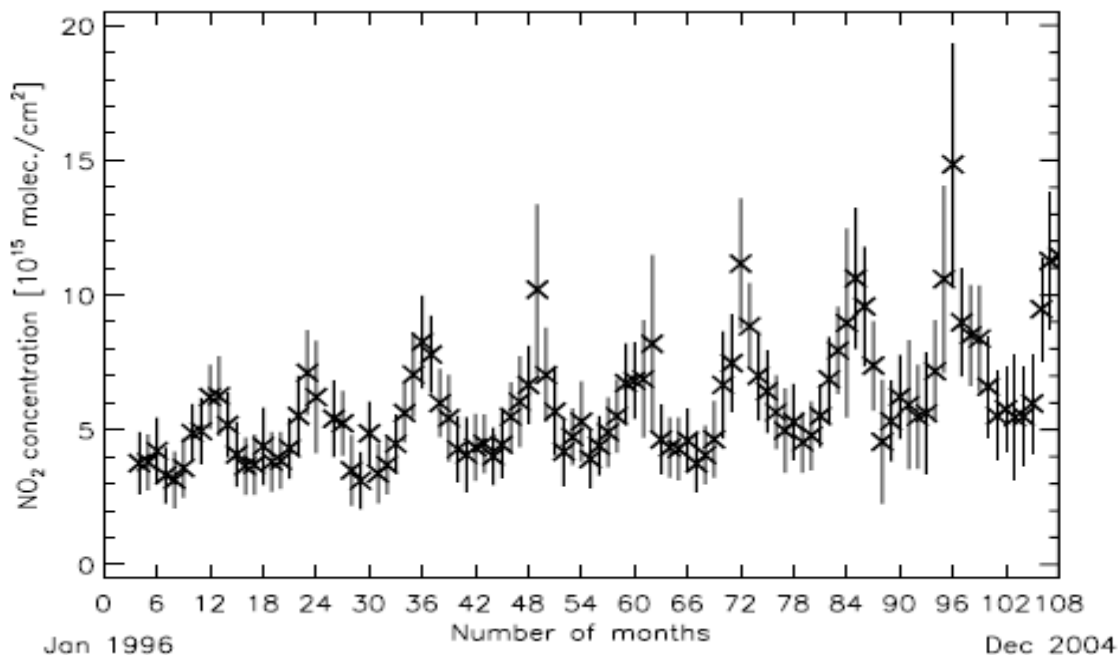
Μέσες μηνιαίες τιμές των επιπέδων NO<sub>2</sub> στο Πεκίνο (Οκτ.2004-Αύγ.2010).



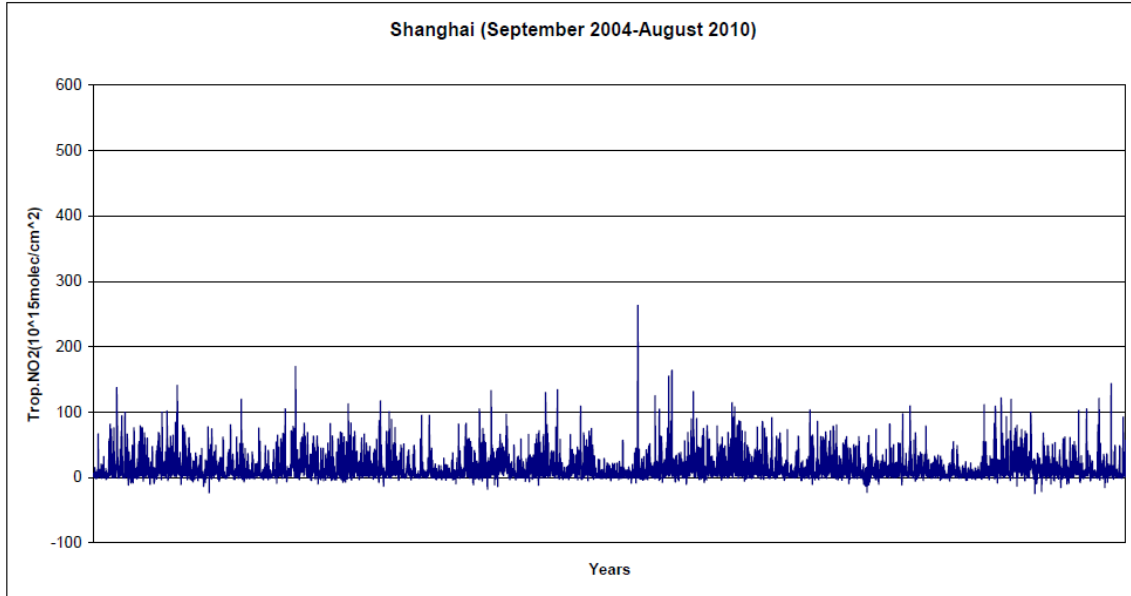
Μέση τιμή των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) για το 2004 (SCIAMACHY).



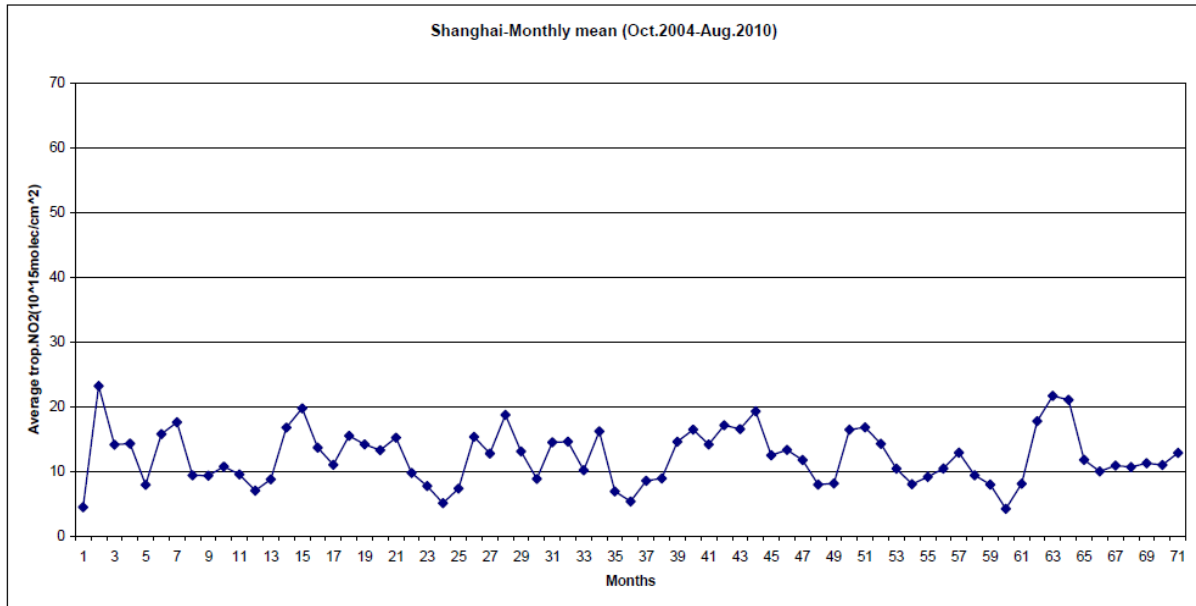
Χρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του αζώτου (NO<sub>2</sub>) για τη περιοχή της ανατολικής Κίνας κατά τη περίοδο 1996-2004.



Χρονική εξέλιξη των συγκεντρώσεων του NO<sub>2</sub> πάνω από την περιοχή της Σαγκάης (Οκτ.2004-Αύγ.2010).



Μέσες μηνιαίες τιμές των επιπέδων NO<sub>2</sub> στη Σαγκάη (Οκτ.2004-Αύγ.2010).





## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΕΚΘΕΣΕΙΣ- ΒΙΒΛΙΑ

K. F. Boersma, H. J. Eskes, J. P. Veefkind, E. J. Brinksma, R. J. van der A, M. Sneep, G. H. J. van der Oord, P. f. Levelt, P. Stammes, J. F. Gleason, E. J. Bucsela: Near-real time retrieval of tropospheric NO<sub>2</sub> from OMI, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 2103-2118, 2007, [www.atmos-chem-phys.net/7/2103/2007/](http://www.atmos-chem-phys.net/7/2103/2007/).

Ruud Dirksen, Henk Eskes, Folkert Boersma, Pieter Levelt, Pepijn Veefkind, Ronald van der A: Derivation of Ozone Monitoring Instrument tropospheric NO<sub>2</sub> in real-time (DOMINO), Final report, April 2008.

R. J. van der A, H. J. Eskes, K. F. Boersma, T. P. C. van Noije, M. Van Roozen-dael, I. De Smedt, D. H. M. U. Peters, E. W. Meijer (2008), Trends, seasonal variability and dominant NO<sub>x</sub> source derived from a ten year record of NO<sub>2</sub> measured from space, *J. Geophys. Res.*, 113, D04302, doi: 10.1029/2007JD009021.

R. J. van der A, D. H. M. U. Peters, H. J. Eskes, K. F. Boersma, M. Van Roozen-dael, I. De Smedt, H. M. Kelder (2006), Detection of the trend and seasonal variation in tropospheric NO<sub>2</sub> over China, *J. Geophys. Res.*, 111.D12317, doi: 10.1029/2005/JD006594.

Zyrichidou, M. E. Koukouli. D. S. Balis, E. Katragkou, D. Melas, A. Poupkou, I. Kioutsioukis, R. J. van der A, K. F. Boersma, M. Van Roozendael, A. Richter: Satellite observations and model simulations of tropospheric NO<sub>2</sub> columns over south-eastern Europe, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 6119-6134, 2009, [www.atmos-chem-phys.net/9/6119/2009/](http://www.atmos-chem-phys.net/9/6119/2009/).

Richter, A. K., J. P. Burrows, H. Nuß, C. Granier, and U. Niemeier (2005), Increase in tropospheric nitrogen dioxide over China observed from space, *Nature*, 437, 129-132, doi: 10.1038/nature04092.

Frost, G. J. et al. (2006), Effects of changing power plant NO<sub>x</sub> emissions on ozone in the eastern United States: Proof of concept, *J. Geophys. Res.*, 111.D12306, doi: 10.1029/2005JD02074.

Ladstätter-Weissenmayer, A., Kanakidou, M., and Meyer-Arnek, J.: Pollution events over the East Mediterranean: Synergistic use of GOME, ground-based and sonde observations and models, *Atmos. Environ.*, 41, 7262-7273, 2007.

Konovalov, I. B., Beekmann, M., Vautard, R., Burrows, J. P., Richter, A., N<sup>o</sup>uß, H., and Elansky, N.: Comparison and evaluation of modelled and GOME measurement derived tropospheric NO<sub>2</sub> columns over Western and Eastern Europe, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 169-190, 2005, <http://www.atmos-chem-phys.net/5/169/2005/>.

Kim, S.-W., A. Heckel, S. A. McKeen, G. J. Frost, E.-Y. Hsie, M. K. Trainer, A. Richter, J. P. Burrows, S. E. Peckham, and G. A. Grell (2006), Satellite-observed U.S. power plant NO<sub>x</sub> emission reductions and their impact on air quality, *Geo-phys. Res. Lett.*, 33, L22812, doi: 10.1029/2006GL027749.

Wang, Y. X., M. B. McElroy, T. Wang, and P. I. Palmer (2004), Asian emissions of CO and NO<sub>x</sub>: Constraints from aircraft and Chinese station data, *J. Geophys. Res.*, 109, D24304, doi:10.1029/2004JD005250.

Weatherhead, E. C., et al. (1998), Factors affecting the detection of trends: Statistical considerations and applications to environmental data, *J. Geophys. Res.*, 103, 17,149-17,161.

Dobber, M., R. Dirksen, R. Voors, G. H. Mount, and P. Levelt, Ground-based zenith sky abundances and in situ gas cross sections for ozone and nitrogen dioxide with the Earth Observing System Aura Ozone Monitoring Instrument, *Appl. Opt.*, 44(14), 2846-2856, 2005.

Dobber, M., R. Dirksen, P. F. Levelt, G. H. J. van den Oord, R. H. M. voors et al., Ozone Monitoring Instrument Calibration, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(5), 1209-1238, doi:10.1109/TGRS.2006.869987, 2006.

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

<http://www.temin.nl>

<http://esdis.eosdis.nasa.gov/eosdis/components.html#edos>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Goddard\\_Space\\_Flight\\_Center](http://en.wikipedia.org/wiki/Goddard_Space_Flight_Center)

<http://www.nasa.gov/centers/goddard/home/>.

[http://www.knmi.nl/~sdecerff/docs/ODPSPosterAbstractGO12nov2004\\_v3.PDF](http://www.knmi.nl/~sdecerff/docs/ODPSPosterAbstractGO12nov2004_v3.PDF).

<http://www.ecmwf.int/>.

[http://www.wmo.int/pages/index\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/index_en.html)