

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ  
ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ  
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

Αντικείμενο της προτεινόμενης διδακτορικής διατριβής είναι η μελέτη των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των λεπτόκοκκων (δηλ. διαμέτρου μικρότερη του 1  $\mu\text{m}$ ) αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Συγκεκριμένα, θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις κατανομών μεγέθους των λεπτόκοκκων σωματιδίων με χρήση φασματογράφων μεγέθους σωματιδίων (Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS), μετρήσεις χημικής σύστασης της ημερήσια συλλεγόμενης συνολικής σωματιδιακής μάζας (προσδιορισμός των ιόντων και των μετάλλων μέσω ιοντικής χρωματογραφίας και ατομικής απορρόφησης αντίστοιχα) σε συγκεκριμένους σταθμούς της πόλης. Επίσης θα μελετηθούν οι φυσικοχημικές ιδιότητες των λεπτόκοκκων σωματιδίων, όπως η πτητικότητα και η υγροσκοπικότητα, με χρήση ταξινομητών ηλεκτρικής κινητικότητας σε σειρά (tandem Differential Mobility Analyzers, tDMAs), οι οπτικές τους ιδιότητες με χρήση νεφελόμετρου (Integrating Nephelometer), καθώς και η ικανότητα των συγκεκριμένων σωματιδίων να δράσουν ως πυρήνες για τον σχηματισμό νεφών με χρήση μετρητή πυρήνων συννέφων (Cloud Condensation Nucle Counter, CCNC). Τέλος, τα αποτελέσματα θα συσχετιστούν με μετεωρολογικές μετρήσεις με σκοπό την εκτίμηση της συνεισφοράς των τοπικών πηγών ρύπανσης της πόλης και θα συγκριθούν με αντίστοιχα αποτελέσματα άλλων περιοχών.

Έχουν ολοκληρωθεί οι μετρήσεις κατανομών μεγέθους και μέρος των αποτελεσμάτων αυτών έχει παρουσιαστεί στο International Aerosol Conference (IAC) 2010.

Θα ακολουθήσουν μετρήσεις της χημικής σύστασης και των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των αιωρούμενων σωματιδίων.

## **1. Εισαγωγή**

Η Θεσσαλονίκη είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας και συγκεντρώνει έναν μεγάλο αριθμό ανθρωπογενών πηγών αέριας ρύπανσης (βιομηχανία, μεταφορές, θέρμανση, κτλ.). Λόγω της τοποθεσίας της, η ατμόσφαιρα της πόλης επηρεάζεται επίσης από την διασυνοριακά μεταφερόμενη ρύπανση από την κεντρική και την ανατολική Ευρώπη. Ως αποτέλεσμα, η μελέτη της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην Θεσσαλονίκη είναι πολύπλοκη αποτελώντας θέμα μεγάλου ερευνητικού ενδιαφέροντος.

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της ατμόσφαιρας και σχετίζονται με πολλές διαδικασίες που αφορούν τα κλιματικά φαινόμενα όπως: η ορατότητα, η επίδρασή τους στη μεταβολή της ατμοσφαιρικής θερμοδυναμικής και στο σχηματισμό σύννεφων, η βροχόπτωση, η χημική σύσταση της ατμόσφαιρας και γενικά το κλίμα μιας ευρύτερης περιοχής. Άμεση, επίσης, είναι και η επίδραση στην υγεία του ανθρώπου. Στην περίπτωση αυτή, το μέγεθος των σωματιδίων είναι καθοριστικό στη διείσδυση και εναπόθεσή τους στο αναπνευστικό σύστημα (όσο μικρότερα είναι τα αιωρούμενα σωματίδια, τόσο βαθύτερα διεισδύουν στο

αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου). Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και η χημική σύσταση των λεπτόκοκκων σωματιδίων, η οποία διαφέρει ανάλογα με την πηγή προέλευσης. Ιδιαίτερη σημασία έχει η παρουσία τοξικών και επικίνδυνων συστατικών, όπως τα βαρέα μέταλλα, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, οι διοξίνες, τα φουράνια κ.ά.

Η προτεινόμενη διδακτορική διατριβή έχει ως αντικείμενο τον προσδιορισμό των ποσοτικών (συγκέντρωση και μέγεθος) και ποιοτικών (χημική σύσταση) χαρακτηριστικών των λεπτόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα πάνω από την πόλη της Θεσσαλονίκης. Οι στόχοι της προτεινόμενης διατριβής είναι:

1. Η εκτίμηση των επιπέδων των λεπτόκοκκων σωματιδίων στην πόλη της Θεσσαλονίκης με μετρήσεις των κατανομών μεγέθους αιωρούμενων σωματιδίων (διαμέτρου από 10 έως 500 nm) σε δύο σταθμούς της πόλης
2. Ο προσδιορισμός της χημικής σύστασης των λεπτόκοκκων σωματιδίων (διαμέτρου μικρότερης του 1  $\mu\text{m}$ )
3. Η μέτρηση της πτητικότητας, της υγροσκοπικότητας, και της ικανότητας των λεπτόκοκκων σωματιδίων να δράσουν σαν πυρήνες για τον σχηματισμό σύννεφων,
4. Η εκτίμηση της συνεισφοράς των τοπικών πηγών (βιομηχανία, μεταφορές, θέρμανση κτλ.) καθώς και της διασυννοριακής ρύπανσης στις συγκεντρώσεις των λεπτόκοκκων σωματιδίων, μέσω συσχέτισης των μετρήσεων σωματιδιακής φόρτισης με μετεωρολογικά δεδομένα.

## 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Φορείς όπως η Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, ο Δήμος Θεσσαλονίκης και το Α.Π.Θ. διεξάγουν μετρήσεις για τον προσδιορισμό των φυσικών ιδιοτήτων των αιωρούμενων σωματιδίων στην ευρύτερη περιοχή. Βάσει των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί μέχρι σήμερα, οι πηγές που ταυτοποιήθηκαν ως ευθυνόμενες κυρίως για τα εισπνεύσιμα αιωρούμενα σωματίδια περιλαμβάνουν την κυκλοφορία των αυτοκινήτων, την καύση πετρελαίου (οικιακή ή βιομηχανική), την επαναιώρηση της σκόνης δρόμου, βιομηχανικές μεταλλουργικές δραστηριότητες και την παραγωγή τσιμέντου / οικοδομική δραστηριότητα (Samara, *et al.*, 2003; Samara and Voutsas, 2005; Terzi *et al.*, 2010; Katragkou *et al.*, 2009).

Η μεγάλη αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα που σαν αποτέλεσμα είχε και την αυξημένη κυκλοφορία αυτοκινήτων σε αυτά, συντέλεσαν στην αύξηση της αστικής σωματιδιακής ρύπανσης, ιδιαίτερα των λεπτών κλασμάτων, τα οποία λόγω του μεγέθους τους μπορούν να εισχωρήσουν στους βρόγχους και να προκαλέσουν προβλήματα υγείας που αναφέρθηκαν (Kreyling *et al.*, 2006; Colbeck and Lazaridis; Davies, 1997). Μεγαλύτερη συνεισφορά στα εισπνεύσιμα σωματίδια έχει η κυκλοφορία με συνολική συμμετοχή 47% - 65% και ακολουθεί η καύση πετρελαίου για οικιακή θέρμανση (9% - 28%) και η σκόνη δρόμου (18% -22%) (Samara, *et al.*, 2003; Kittelson, 1998; Shi *et al.*, 2001; Cyrys *et al.*, 2001).

Στα πλαίσια της προτεινόμενης διδακτορικής διατριβής θα πραγματοποιηθούν για πρώτη φορά για μεγάλο χρονικό διάστημα μετρήσεις κατανομών μεγέθους (10-500 nm) σε συνδυασμό με αναλύσεις χημικής σύστασης των λεπτόκοκκων σωματιδίων αιωρούμενων σωματιδίων στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Αντίστοιχες μελέτες για την περιοχή της Θεσσαλονίκης έχουν γίνει κυρίως για σωματίδια μεγαλύτερου μεγέθους

(PM<sub>10</sub>) (Manoli, *et al.*, 2002; Tsitouridou *et al.*, 2002; Voutsas *et al.*, 2002; Samara, *et al.*, 2003; Chrysikou *et al.* 2009). Οι παραπάνω μετρήσεις θα συνδυαστούν με μετρήσεις πτητικότητας, υγροσκοπικότητας, και ικανότητας των λεπτόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων να δράσουν σαν πυρήνες σύννεφων οι οποίες θα βοηθήσουν, πέρα από τον προσδιορισμό των πηγών των ΑΣ, στην εκτίμηση των επιπτώσεων τους στο περιβάλλον (Hughes *et al.*, 1998).

Μετρήσεις των ιδιοτήτων των λεπτόκοκκων αιωρούμενων σωματιδίων τόσο στις Ελληνικές πόλεις όσο και σε πόλεις των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής και της Ευρώπης αποτελούν καινοτομία στην έρευνα για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων (Mc Murry and Friedlander, 1967; Place *et al.*, 2010; Qian *et al.*, 2007; Rodriguez *et al.*, 2005; Stanier *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2008).

### 3. Μεθοδολογία

Για την διεξαγωγή των μετρήσεων των ιδιοτήτων των αιωρούμενων σωματιδίων έχουν επιλεγεί δυο σταθμοί ελέγχου του Δήμου Θεσσαλονίκης. Ο πρώτος σταθμός επί της οδού Ελ. Βενιζέλου χαρακτηρίζεται ως κυκλοφοριακός σταθμός όπου παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές στις συγκεντρώσεις των αερίων ρύπων στο πολεοδομικό συγκρότημα του Δήμου Θεσσαλονίκης. Ο δεύτερος σταθμός στην περιοχή του Επταπυργίου είναι σταθμός αστικού υποβάθρου, δεν επηρεάζεται άμεσα από την κυκλοφορία των οχημάτων και εκεί παρατηρούνται οι χαμηλότερες τιμές ατμοσφαιρικής ρύπανσης-πλην όζοντος (Pettrakakis *et al.*, 2007).

Οι μετρήσεις της κατανομής των σωματιδίων θα πραγματοποιηθούν με φασματογράφο μεγέθους σωματιδίων SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer, Μοντέλο TSI 3034). Ο συγκεκριμένος φασματογράφος έχει την δυνατότητα μέτρησης κατανομών αιωρούμενων σωματιδίων με μέγεθος από 10 έως 468 nm ανά 3 λεπτά. Οι ωριαίοι ή ημερήσιοι μέσοι όροι αυτών των κατανομών μπορούν να αναχθούν σε ωριαίες, ημερήσιες κατανομές αλλά μπορούν να σχηματιστούν και κατανομές για μεγαλύτερα διαστήματα (Hogrefe *et al.*, 2006; Gao *et al.*, 2009). Επίσης μπορούν να προσδιοριστούν πηρυνοποιησεις σωματιδίων (nucleation events) (Curtius, 2006; Eisele and Mc Murry, 1990; Kristensson *et al.*, 2008; Kulmala, 2003)

Παράλληλα με τις μετρήσεις κατανομής μεγέθους, θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις της χημικής τους σύστασης των λεπτόκοκκων σωματιδίων με μέγεθος μικρότερη του 1 μm. Για της χημικές αναλύσεις θα γίνει συλλογή σωματιδιακής μάζας (PM<sub>i</sub>) σε φίλτρα, και κατόπιν χημική ανάλυση της ημερήσιας συλλεγόμενης συνολικής σωματιδιακής χημικής σύστασης (προσδιορισμός των ιόντων και των μετάλλων μέσω ιοντικής χρωματογραφίας και ατομικής απορρόφησης αντίστοιχα). Με την πληροφορία της κατανομής και της χημικής σύστασης των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να γίνει προσδιορισμός της προέλευσης των λεπτόκοκκων σωματιδίων (Westerdahl *et al.* 2005; Manoli *et al.*, 2002; Smirnov, 2006) καθώς και των συνθηκών αλληλεπίδρασης κατά την παραμονή τους στην ατμόσφαιρα (Zhang *et al.* 2009; Holmes, 2007; Kulmala, 2004; Kulmala, 2008)

Η παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων επηρεάζεται από τις θερμοδυναμικές συνθήκες της ατμόσφαιρας. Ανάλογα με την σχετική υγρασία, το μέγεθος των σωματιδίων μπορεί να αυξηθεί ανάλογα με την χημική τους σύσταση (Cubison 2005, Kuhn *et. al.* 2005). Τα υδατοδιαλυτά σωματίδια αυξάνουν το μέγεθος τους σε συνθήκες υψηλής υγρασίας λόγω προσρόφησης και συμύκνωσης αυτής, σε αντίθεση με τα υδρόφοβα. Η αύξηση αυτή σχετίζεται και με το αρχικό μέγεθος του σωματιδίου. Η κατανομή των σωματιδίων και οι φυσικοχημικές ιδιότητες παίζουν καθοριστικό ρόλο για την ικανότητα των σωματιδίων να δρουν ως πυρήνες συμύκνωσης (cloud condensation nuclei, CCN) (E. Weingartner *et. al.*, 2002).

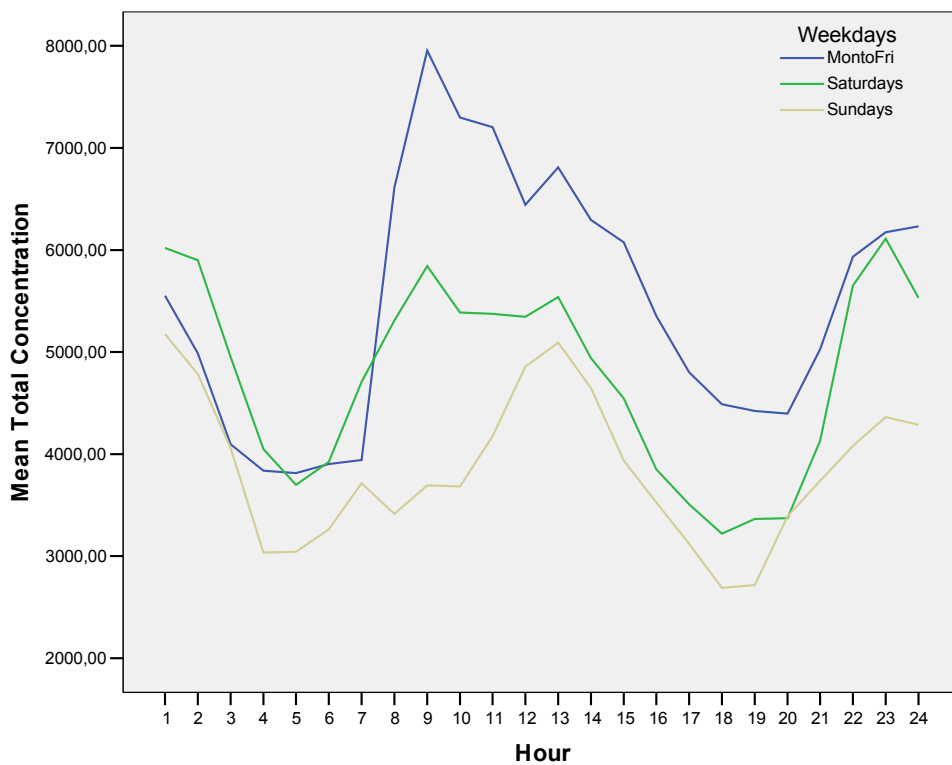
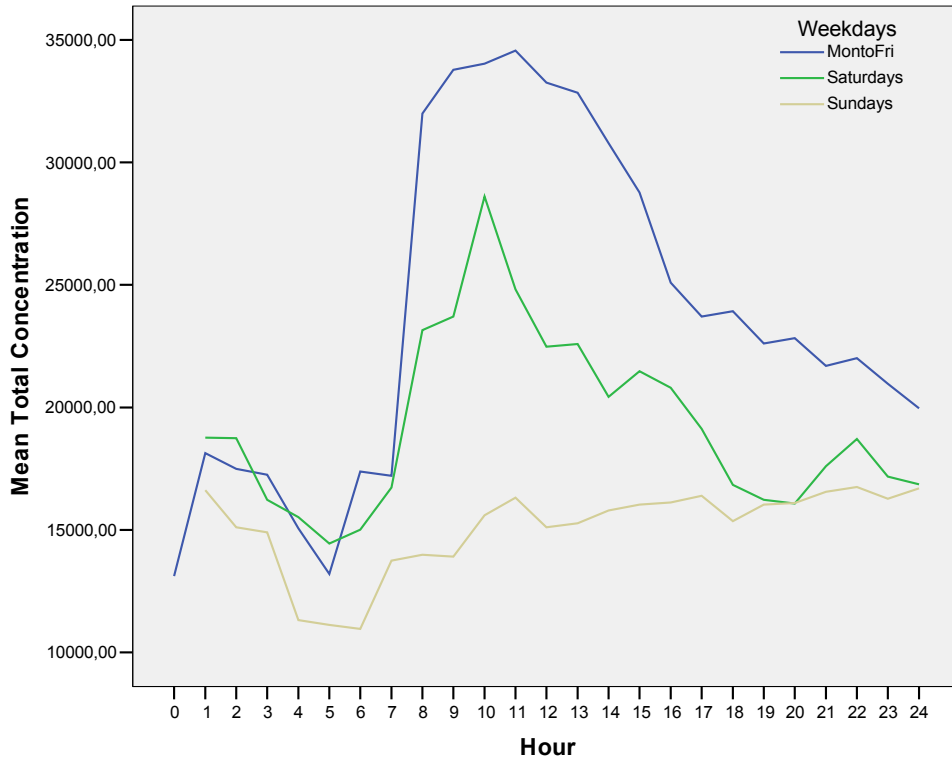
Παράλληλα με τις μετρήσεις μεγέθους και χημικής σύστασης των σωματιδίων θα προσδιοριστούν οι φυσικοχημικές ιδιότητες των λεπτόκοκκων σωματιδίων, όπως η πτητικότητα και η υγροσκοπικότητα, με χρήση ταξινομητών ηλεκτρικής κινητικότητας σε σειρά (tandem Differential Mobility Analyzers, tDMAs), και της ικανότητάς τους να δράσουν σαν πυρήνες συννέφων με χρήση καταμετρητή πυρήνων συννέφων (Condensations Cloud Nuclei Counter, CCNC) (Roberts and Nenes, 2005; Bryant *et. al.*, 2006; Yuan *et. al.*, 2006)

#### **4. Πρόοδος μέχρι σήμερα**

Μέχρι σήμερα έχουν ολοκληρωθεί οι μετρήσεις και η επεξεργασία των δεδομένων των κατανομών μεγέθους των λεπτόκοκκων σωματιδίων στους δύο σταθμούς ελέγχου για 109 ημέρες. Τα πρώτα αποτελέσματα δημοσιεύτηκαν στο IAC 2010 που διεξήχθη στο Ελσίνκι (Siakavaras, *et al.* 2010). Γενικά, παρουσιάστηκαν πυρηνοποιήσεις στο 27% των ημερών στη Βενιζέλου και στο 29% στο Επταπύργιο. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις οι πυρηνοποιήσεις εμφανίζονται στις 12:00 περίπου και συνεχίζουν ως τα μεσάνυχτα περίπου. Κατά τις ώρες που εμφανίζεται αύξηση του αριθμού των ΑΣ παρατηρείται παράλληλη αύξηση και των SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> στη Βενιζέλου. Στο Επταπύργιο παρατηρείται μόνο αύξηση του διοξειδίου του θείου παράλληλα με την αύξηση των σωματιδίων ενώ δεν παρατηρήθηκε συσχέτιση με CO και O<sub>3</sub>.

Μέρος της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων που έχει γίνει μέχρι σήμερα παρουσιάζονται παρακάτω.

Στο Σχήμα 1. φαίνεται πως κατανέμεται ο ολικός αριθμός σωματιδίων ανά ώρα κατά την διάρκεια του 24ώρου τις καθημερινές, τα Σάββατα και τις Κυριακές στο σταθμό της Βενιζέλου (πάνω μέρος) και του Επταπυργίου. Οι τιμές αυτές είναι μέσοι όροι συνολικά για όλη την περίοδο μετρήσεων. Στην αρχή του 24ώρου, παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση του αριθμού των σωματιδίων που ξεκινά γύρω στις 07:00, ώρα που ξεκινά και η κυκλοφορία των οχημάτων και διαρκεί ως τις πρώτες μεσημεριανές ώρες 13:00, παρουσιάζοντας μέγιστο στις 09:00 - 11:00.

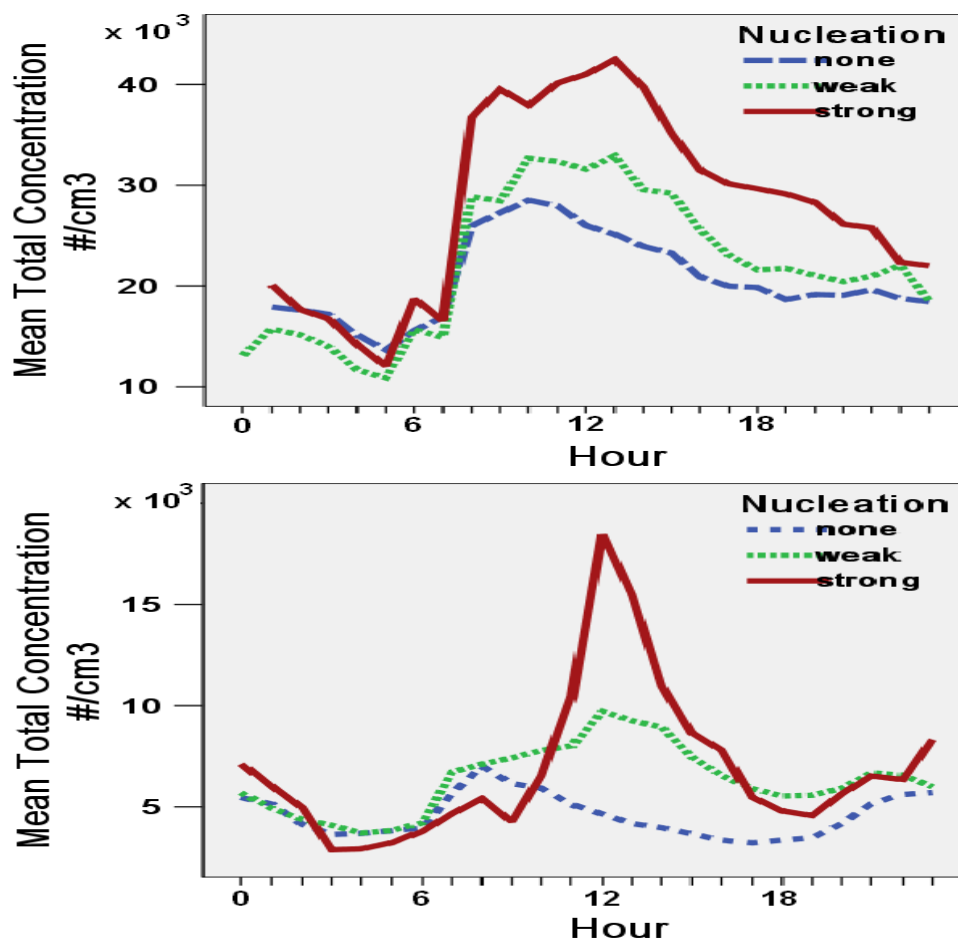


Σχήμα 1. Ωριαίες κατανομές ολικού αριθμού σωματιδίων στη Βενιζέλου (πάνω μέρος σχήματος) και στο Επταπύργιο (κάτω μέρος σχήματος) για τις καθημερινές (μπλε γραμμή) τα Σάββατα (πράσινη γραμμή) και τις Κυριακές (καφέ γραμμή)

Στο πάνω σχήμα φαίνεται χαρακτηριστικά η διαφορά στον αριθμό των σωματιδίων που υπάρχουν μεταξύ των ημερών. Στη Βενιζέλου οι καθημερινές παρουσιάζουν αυξημένο αριθμό σωματιδίων κατά τις μεσημεριανές ώρες σχεδόν  $35.000 \text{ \#/cm}^3$  και τα

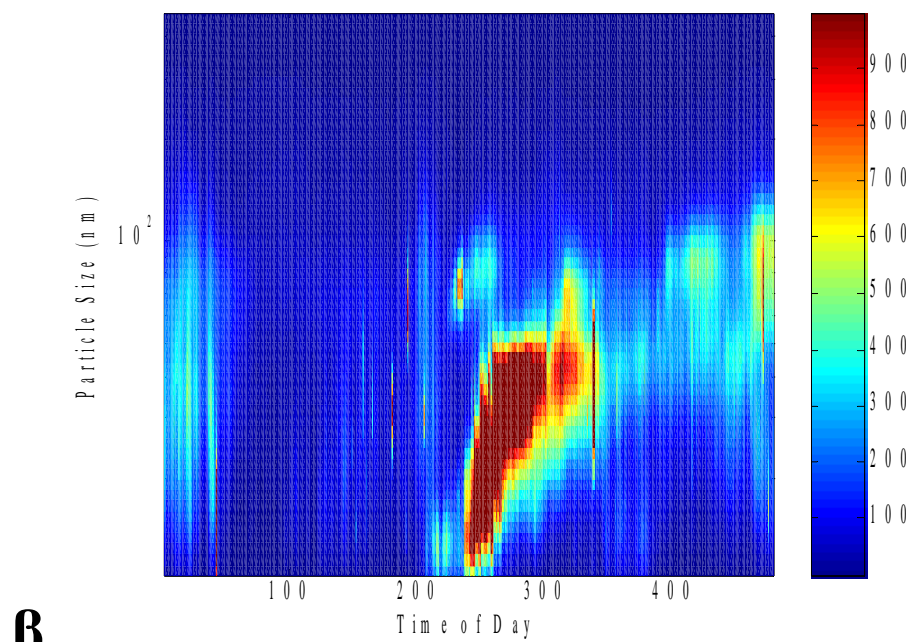
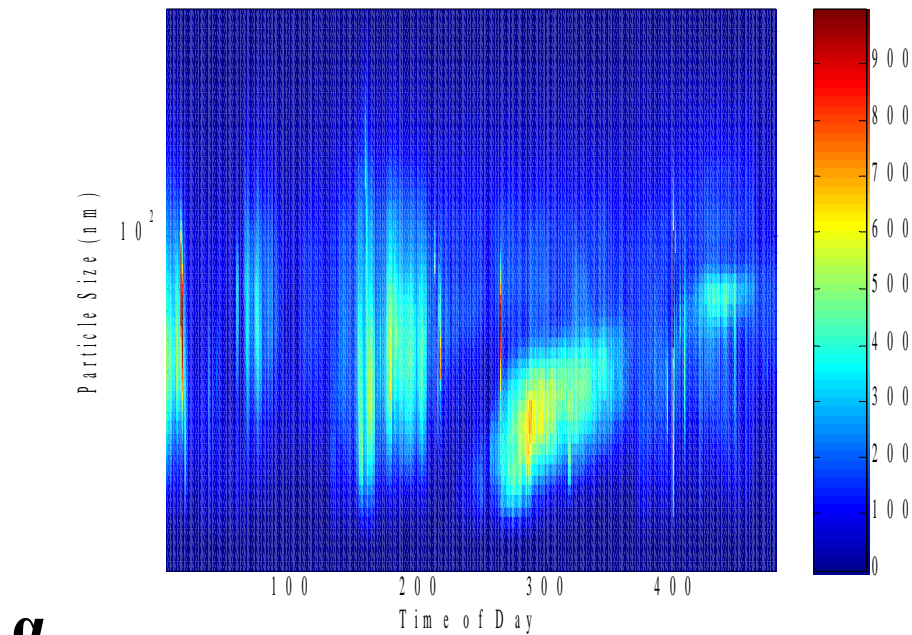
Σάββατα  $28.000 \text{ \#/cm}^3$  σε αντίθεση με και τις Κυριακές όπου ο αριθμός των σωματιδίων εμφανίζει μέγιστο  $15.000 \text{ \#/cm}^3$  περίπου. Το Σάββατο παρουσιάζει εδώ αυξημένο αριθμό σωματιδίων, κυρίως ως τις 15:00 διότι υπάρχει έντονη εμπορική δραστηριότητα στο κέντρο της πόλης και συνεπώς υπάρχει αυξημένη κυκλοφορία οχημάτων. Στο Επταπύργιο οι διαφορές είναι πιο ήπιες. Ο αριθμός σωματιδίων αντιστοιχεί σε  $8.000 \text{ \#/cm}^3$ ,  $5.500 \text{ \#/cm}^3$  και  $5.000 \text{ \#/cm}^3$  για τις καθημερινές, τα Σάββατα και τις Κυριακές αντίστοιχα. Ο αριθμός των σωματιδίων παρουσιάζει αύξηση τις πρωινές ώρες μεταξύ 08:00 με 10:00, ώρες που ξεκινούν οι μετακινήσεις των κατοίκων προς τις εργασίες τους και το βράδυ 21:00 με 22:00. Στο Επταπύργιο παρατηρούνται μικρότερες διακυμάνσεις στον αριθμό των σωματιδίων κατά την διάρκεια της ημέρας από  $4.000 \text{ \#/cm}^3$  έως  $8.000 \text{ \#/cm}^3$  ενώ στη Βενιζέλου από  $12.000 \text{ \#/cm}^3$  έως  $35.000 \text{ \#/cm}^3$  γεγονός που δείχνει ότι επηρεάζεται λιγότερο από την κίνηση των οχημάτων.

Και στους δυο σταθμούς ελέγχου παρατηρείται μια μείωση στον αριθμό των σωματιδίων τις μεσημεριανές ώρες κατά τις οποίες παρατηρήθηκε έντονη αύξηση της ταχύτητας των ανέμων και στους δυο σταθμούς (Pettrakakis *et al.*, 2007). Το γεγονός οδηγεί στη μίξη και διάλυση των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού τους αυτές τις ώρες.



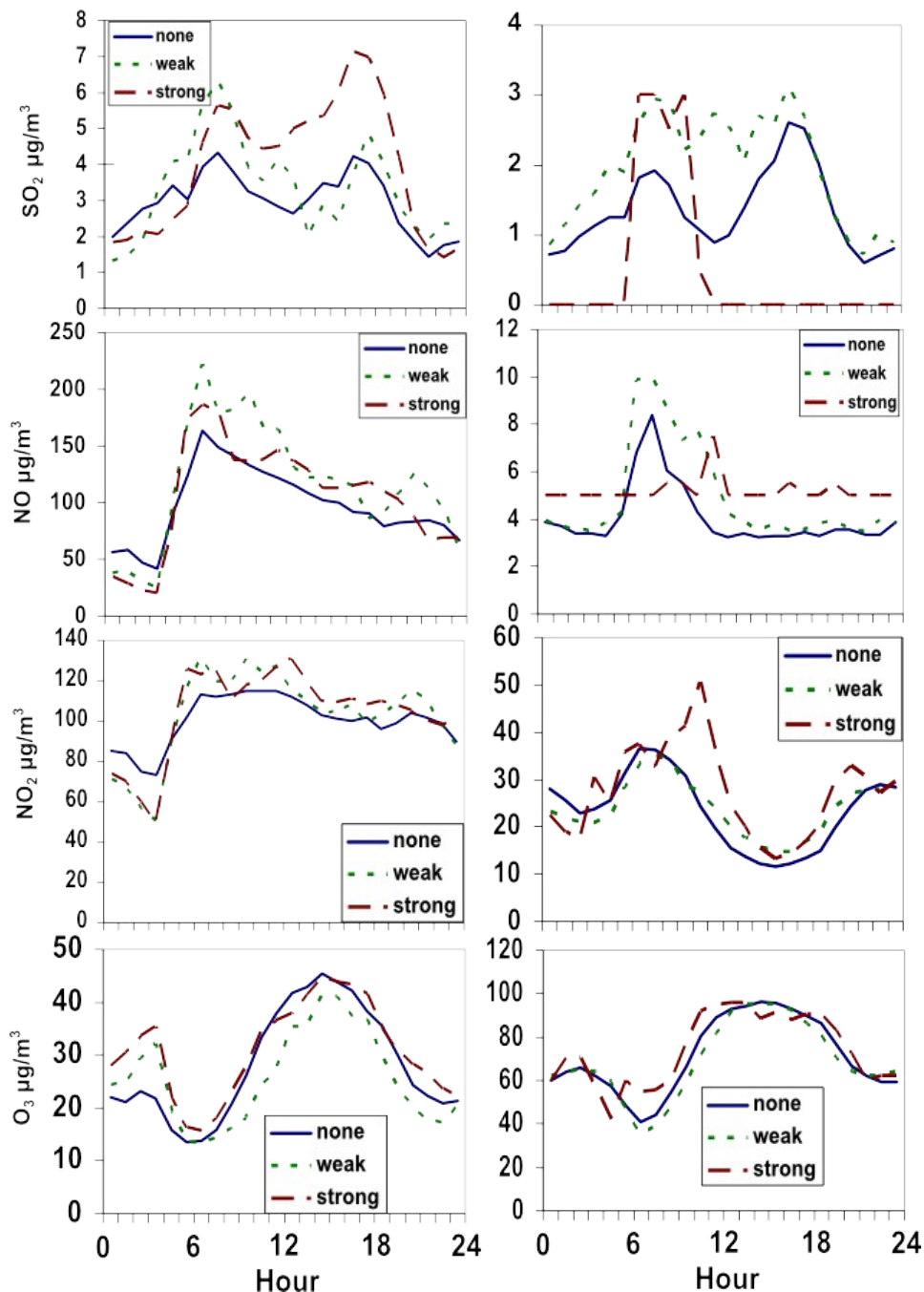
Σχήμα 2. Ωριαίες κατανομές ολικού αριθμού σωματιδίων στη Βενιζέλου (πάνω μέρος σχήματος) και στο Επταπύργιο (κάτω μέρος σχήματος) για τις ημέρες χωρίς πυρηνοποίηση (nucleation) (μπλε γραμμή) με ασθενής πυρηνοποίηση (πράσινη γραμμή) και με έντονη πυρηνοποίηση (καφέ γραμμή)

Οι ημέρες των μετρήσεων διαχωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το αν παρουσιάζουν καθόλου (none), ασθενής (weak) ή έντονη (strong) πυρηνοποίηση (nucleation) (Σχήμα 2). Σημαντική αύξηση στον αριθμό των σωματιδίων παρατηρείται τις ημέρες με έντονο φαινόμενο πυρηνοποίηση που οφείλεται και στην απότομη αύξηση του αριθμού των σωματιδίων που σχηματίζονται. Το φαινόμενο έχει μεγαλύτερη διάρκεια στον σταθμό της Βενιζέλου όπου ο σχηματισμός των σωματιδίων διαρκεί για περισσότερες ώρες (07:00 – 22:00). Στον σταθμό του Επταπυργίου η αύξηση διαρκεί λιγότερο χρονικό διάστημα (10:00 – 17:00)



Σχήμα 3. Contour plots όπου παρουσιάζεται ασθενής πυρηνοποίηση - weak nucleation event (πάνω μέρος σχήματος) και έντονη πυρηνοποίηση (strong nucleation event)

Αρχικά εξετάστηκαν όλες οι μέρες για την διαπίστωση εμφάνισης χαρακτηριστικών πυρηνοποίησης (nucleation events). Στη συνέχεια οι ημέρες που παρουσίαζαν πυρηνοποίηση, ανάλογα αν κατά την πρώτη ώρα εμφάνισης της πυρηνοποίησης παρουσίαζαν αύξηση του αριθμού των σωματιδίων πάνω από  $4.000 \text{ \# cm}^{-1} \text{ h}^{-1}$  χαρακτηρίστηκαν ως ημέρες με έντονη πυρηνοποίηση (Σχήμα 3α.). Οι υπόλοιπες ημέρες κατά τις οποίες η αύξηση του αριθμού των σωματιδίων κατά την πρώτη ώρα ήταν μικρότερη από  $4.000 \text{ \# cm}^{-1} \text{ h}^{-1}$  χαρακτηρίστηκαν ως ασθενής πυρηνοποιήσεις (Σχήμα 3β.).



Σχήμα 4. Ωριαίες κατανομές αερίων ρύπων ρύπων στη Βενιζέλου (αριστερό μέρος σχήματος) και στο Επταπύργιο (δεξί μέρος σχήματος) για τις ημέρες χωρίς πυρηνοποίηση (nucleation - μπλε γραμμή) με ασθενής πυρηνοποίηση (πράσινη γραμμή) και με έντονη πυρηνοποίηση (κόκκινη γραμμή)



Στο Σχήμα 4 παρουσιάζονται οι ωριαίες κατανομές των αερίων ρύπων για τις ημέρες χωρίς, με ασθενή και με έντονη πυρηνοποίηση. Παρατηρείται συσχετισμός των συγκεντρώσεων SO<sub>2</sub> και NO με την αύξηση του αριθμού των σωματιδίων στους δυο σταθμούς. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις αναλύονται στην παρούσα φάση του διδακτορικού.

## 5. Πλάνο εργασίας

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ																			
Δραστηριότητες	ΕΤΟΣ																	Έναρξη	Λήξη
	2009			2010			2011			2012			2013						
Μετρήσεις κατανομών μεγέθους αιωρούμενων σωματιδίων (μετρήσεις SMPS)																		1/5/2009	30/10/2009
Δημοσίευση των αποτελεσμάτων στο IAC 2010																		Σεπτ. 2010	
Δημοσίευση σε περιοδικό ατμοσφαιρικής χημείας																		1/10/2010	31/3/2011
Μετρήσεις χημικής σύστασης PM <sub>1</sub>																		01/05/2011	31/10/2011
Συναρμολόγηση της πειραματικής διάταξης (υγροσκοπικότητα κλπ)																		1/03/2012	30/04/2012
Μετρήσεις υγροσκοπικότητας, πτητικότητας, και ικανότητας σχηματισμού συννέφων																		1/05/2012	31/10/2012
Δημοσίευσεις																		1/10/2012	31/03/2013
Συγγραφή Διδακτορικής Διατριβής																		1/10/2013	31/08/2013

Αυτή τη στιγμή γίνεται η συγγραφή δημοσίευσης των αποτελεσμάτων των μετρήσεων κατανομών μεγέθους σε περιοδικό ατμοσφαιρικής χημείας και έχει σταλεί πρόταση για το EAC 2011. Θα ακολουθήσουν οι μετρήσεις της χημικής σύστασης των PM<sub>1</sub>, όπου θα στηθεί πειραματική διάταξη, θα διεξαχθούν οι μετρήσεις και θα γίνει η επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια θα γίνουν μετρήσεις υγροσκοπικότητας, πτητικότητας και ικανότητας σχηματισμού σύννεφων. Θα στηθούν οι αντίστοιχες πειραματικές διατάξεις για την διεξαγωγή των μετρήσεων. Θα γίνει η επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

## Βιβλιογραφία

C. Bryant et al., "Optical properties of aerosols over the eastern Mediterranean," *Atmospheric Environment* 40, no. 32 (October 2006): 6229-6244.

Loukia P. Chrysikou, Panagiotis G. Gemenetzi, and Constantini A. Samara, "Wintertime size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) in the urban environment: Street- vs rooftop-level measurements," *Atmospheric Environment* 43, no. 2 (January 2009): 290-300.

Colbeck I. and Lazaridis M., "Aerosols and environmental pollution."

Joachim Curtius, "Nucleation of atmospheric aerosol particles," *Comptes Rendus Physique* 7, no. 9-10 (November): 1027-1045.

J. Cyrys et al., "Elemental composition and sources of fine and ultrafine ambient particles in Erfurt, Germany," *The Science of The Total Environment* 305, no. 1-3 (April 15, 2003): 143-156.

C.N. Davies, "Particles in the atmosphere: A review," *Journal of Aerosol Science* 18, no. 5 (October 1987): 469-477.

F. L. Eisele and P. H. McMurry, "Recent progress in understanding particle nucleation and growth," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 352, no. 1350 (February 28, 1997): 191-201. J Ferin et al., "Increased pulmonary toxicity of ultrafine particles? I. Particle clearance, translocation, morphology," *Journal of Aerosol Science* 21, no. 3 (1990): 381-384.

Jian Gao et al., "Measurement of aerosol number size distributions in the Yangtze River delta in China: Formation and growth of particles under polluted conditions," *Atmospheric Environment* 43, no. 4 (February 2009): 829-836.

Olga Hogrefe et al., "Field Evaluation of a TSI Model 3034 Scanning Mobility Particle Sizer in New York City: Winter 2004 Intensive Campaign," *Aerosol Science and Technology* 40, no. 10 (2006): 753-762.

N.S. Holmes, "A review of particle formation events and growth in the atmosphere in the various environments and discussion of mechanistic implications," *Atmospheric Environment* 41, no. 10 (March 2007): 2183-2201.

Lara S. Hughes et al., "Physical and Chemical Characterization of Atmospheric Ultrafine Particles in the Los Angeles Area," *Environmental Science & Technology* 32, no. 9 (May 1, 1998): 1153-1161.

E. Katragkou et al., "PM10 regional transport pathways in Thessaloniki, Greece," *Atmospheric Environment* 43, no. 5 (February 2009): 1079-1085.

D. B. Kittelson, W. F. Watts, and J. P. Johnson, "Nanoparticle emissions on Minnesota highways," *Atmospheric Environment* 38, no. 1 (January 2004): 9-19.

Wolfgang Kreyling, Manuela Semmler-Behnke, and Winfried Müller, "Health implications of nanoparticles," *Journal of Nanoparticle Research* 8, no. 5 (October 1, 2006): 543-562.

A. KRISTENSSON et al., "Characterization of new particle formation events at a background site in Southern Sweden: relation to air mass history," *Tellus B* 60, no. 3 (2008): 330-344.

Markku Kulmala, "ATMOSPHERIC SCIENCE: How Particles Nucleate and Grow," *Science* 302, no. 5647 (November 7, 2003): 1000-1001.

M. Kulmala et al., "Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations," *Journal of Aerosol Science* 35, no. 2 (March 2004): 143-176.

Markku Kulmala and Veli-Matti Kerminen, "On the formation and growth of atmospheric nanoparticles," *Atmospheric Research* 90, no. 2-4 (November): 132-150.

Young-Gon Lee et al., "Characteristics of particle formation events in the coastal region of Korea in 2005," *Atmospheric Environment* 42, no. 16 (May 2008): 3729-3739.

E. Manoli, D. Voutsas, and C. Samara, "Chemical characterization and source identification/apportionment of fine and coarse air particles in Thessaloniki, Greece," *Atmospheric Environment* 36, no. 6 (February 2002): 949-961.

P.H. McMurry and S.K. Friedlander, "New particle formation in the presence of an aerosol," *Atmospheric Environment (1967)* 13, no. 12 (1979): 1635-1651.

Philip F. Place Jr., Luke D. Ziemba, and Robert J. Griffin, "Observations of nucleation-mode particle events and size distributions at a rural New England site," *Atmospheric Environment* 44, no. 1 (January 2010): 88-94.

Shi Qian, Hiromu Sakurai, and Peter H. McMurry, "Characteristics of regional nucleation events in urban East St. Louis," *Atmospheric Environment* 41, no. 19 (June 2007): 4119-4127.

G. C. Roberts and A. Nenes "A Continuous-Flow Streamwise Thermal-Gradient CCN Chamber for Atmospheric Measurements" *Aerosol Science and Technology*, 39 (2005) 206-221.

Sergio Rodriguez et al., "Nucleation and growth of new particles in the rural atmosphere of Northern Italy--relationship to air quality monitoring," *Atmospheric Environment* 39, no. 36 (November 2005): 6734-6746.

Constantini Samara, Th. Kouimtzis, R. Tsiouridou, G. Kanias, V. Simeonov, “Chemical mass balance source apportionment of PM<sub>10</sub> in an industrialized urban area of Northern Greece”, *Atmospheric Environment* 37 (2003) 41–54

Constantini Samara, Demetra Voutsas, “Size distribution of airborne particulate matter and associated heavy metals in the roadside environment”, *Chemosphere* 59 (2005) 1197–1206

Ji Ping Shi et al., “Sources and concentration of nanoparticles (<10nm diameter) in the urban atmosphere,” *Atmospheric Environment* 35, no. 7 (2001): 1193-1202.

D. Siakavaras, C. Samara, C. Pilinis, A. Kelesis, “Summer-time size distribution of aerosol number concentrations in Thessaloniki, Greece: Kerbside vs urban background measurements” EAC 2008, 24-29 August 2008, T02A043P

D. Siakavaras, C. Samara, C. Pilinis, M. Petrakakis, A. Kelesis, G. Biskos. “Nucleation Events during the summer Period in Thessaloniki Greece: Kerbside vs urban background measurements, IAC 2010, 30 August 2010, P1D6

Smirnov, V., “Nature and evolution of ultrafine aerosol particles in the atmosphere,” *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*, December 1, 2006.

Charles O. Stanier, Andrey Y. Khlystov, and Spyros N. Pandis, “Nucleation Events During the Pittsburgh Air Quality Study: Description and Relation to Key Meteorological, Gas Phase, and Aerosol Parameters -- of Aerosol Science and Technology on Findings from the Fine Particulate Matter Supersites Program,” *Aerosol Science and Technology* 38, no. 12 supp 1 (2004): 253-264.

Chung-Shin Yuan et al., “Correlation of atmospheric visibility with chemical composition of Kaohsiung aerosols,” *Atmospheric Research* 82, no. 3-4 (December 2006): 663-679.

Eleni Terzi et al., “Chemical composition and mass closure of ambient PM<sub>10</sub> at urban sites,” *Atmospheric Environment* 44, no. 18 (June 2010): 2231-2239.

E. Weingartner, M. Gysel, U. Baltensperger, “Hygroscopicity of Aerosol Particles at Low Temperatures. 1. New Low-Temperature H-TDMA Instrument: Setup and First Applications,” *Environ. Sci. Technol.* 2002, 36, 55-62

Renyi Zhang et al., “Formation of nanoparticles of blue haze enhanced by anthropogenic pollution,” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, no. 42 (October 20, 2009): 17650-17654.

Tian Hui Zhang and Xiang Yang Liu, “Nucleation: What Happens at the Initial Stage?13,” *Angewandte Chemie International Edition* 48, no. 7 (2009): 1308-1312.