



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
*επένδυση στην κοινωνία της γνώσης*  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



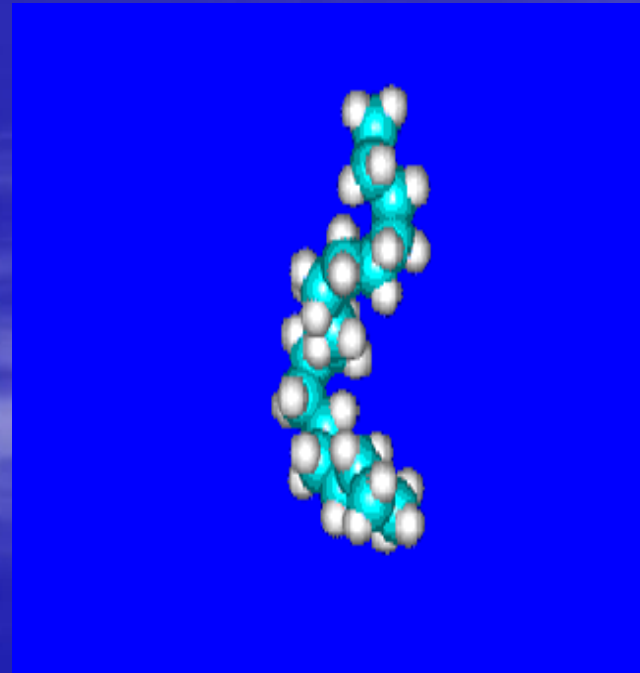
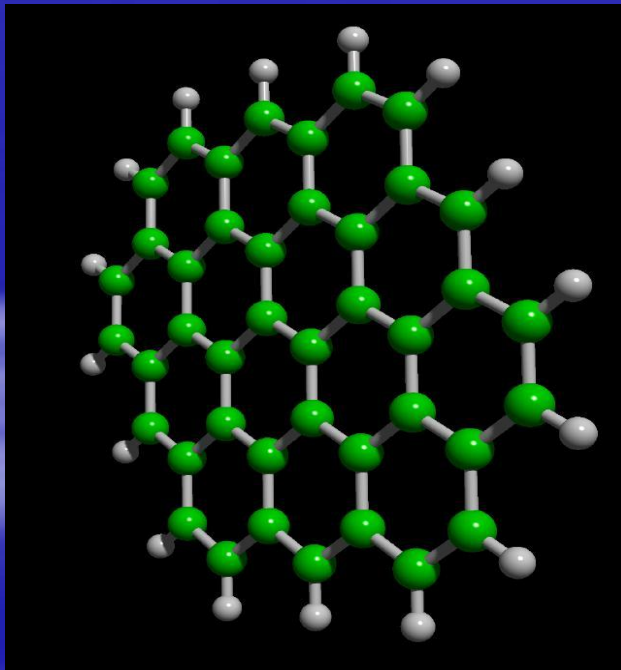
ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Εργαστήριο-μέρος Β  
Δρ. Κοπανάκης Ηλίας

Μάιος, 2015

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΤΩΝ  
ΠΟΛΥΚΥΚΛΙΚΩΝ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ  
ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΛΚΑΝΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΗ  
ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗ ΥΛΗ  $PM_{2,5}$  ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΤΗΣ  
ΑΘΗΝΑΣ



# Διάρθρωση παρουσίασης

- Θεωρητική προσέγγιση αερολυμάτων – Δειγματολήπτες.
- Θεωρητικά στοιχεία για τους ΠΑΥ και τα κ-αλκάνια.
- Πειραματικό μέρος:
  - Δειγματοληψία και εργαστηριακή χημική ανάλυση.
- Παρουσίαση αποτελεσμάτων και αξιολόγηση αυτών:
  - Αποτελέσματα σωματιδίων.
  - Αποτελέσματα αλκανίων.
  - Αποτελέσματα ΠΑΥ.
- Σύνοψη συμπερασμάτων.

## Πηγές σωματιδίων

- Φυσικές πηγές
  - ❖ Μηχανικές διεργασίες
  - ❖ Φυσικά φαινόμενα
  
- Ανθρώπινες δραστηριότητες
  - ❖ Χρήση ορυκτών καυσίμων
  - ❖ Οικιακή δραστηριότητα (μαγείρεμα, κάπνισμα)

## ● Κατηγορίες σωματιδίων

- ✓ Χονδρόκοκκα (coarse)
- ✓ Λεπτόκοκκα (fine)
- ✓ Υπόμικρα (ultrafine)

## ● Απομάκρυνση σωματιδίων από την ατμόσφαιρα

- Καθίζηση (ξηρή – υγρή εναπόθεση)
- Συσσωμάτωση

## ● Χημική σύσταση αερολύματων

Συσχέτιση με την **πηγή προέλευσης** (π.χ. Al, Si, Ca στα χονδρόκοκκα) και την **πορεία** τους στην ατμόσφαιρα (RH, T, παρουσία άλλων ρυπαντών).

- **Οργανικό κλάσμα αερολυμάτων**

- ~30% για τα λεπτόκοκκα σωματίδια

- *Οργανικές ενώσεις*

- ΠΑΥ (Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες)

- Αλκάνια, αλκένια

- Πολυχλωριωμένα διφαινύλια και ναφθαλένια

- Οργανικά οξέα κ.ά.

**Συνεχής αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων  
(βιομηχανοποίηση περιοχών, αποψίλωση εκτάσεων).**



**Επιπτώσεις σε κλίμα, δημόσια υγεία και περιβάλλον.**

# Επίδραση των σωματιδίων στο κλίμα

## ■ Άμεσες συνέπειες:

- Σκέδαση ηλιακού φωτός (ψύξη).
- Απορρόφηση ηλιακού φωτός (θέρμανση).
- Απορρόφηση της εκπεμπόμενης από τη γη υπέρυθρης ακτινοβολίας (θέρμανση).

## ■ Έμμεσες συνέπειες:

- Δυνατότητα σωματιδίων να δράσουν ως πυρήνες συμπύκνωσης σύννεφου.

## Επιπτώσεις σωματιδίων στην δημόσια υγεία

- Καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και πνευμονικές παθήσεις (βήχας, άσθμα).
- Αλλεργικές αντιδράσεις.
- Καρκινογενέσεις (πνεύμονα, αναπνευστικής οδού).

Πιθανή αύξηση κατά  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  στα εισπνεύσιμα σωματίδια



Αύξηση 1% στην παιδική θνησιμότητα



# Δειγματολήπτες σωματιδίων

## Σταθμικές μέθοδοι:

### 1. Πρότυπες (μη συνεχείς μετρήσεις)

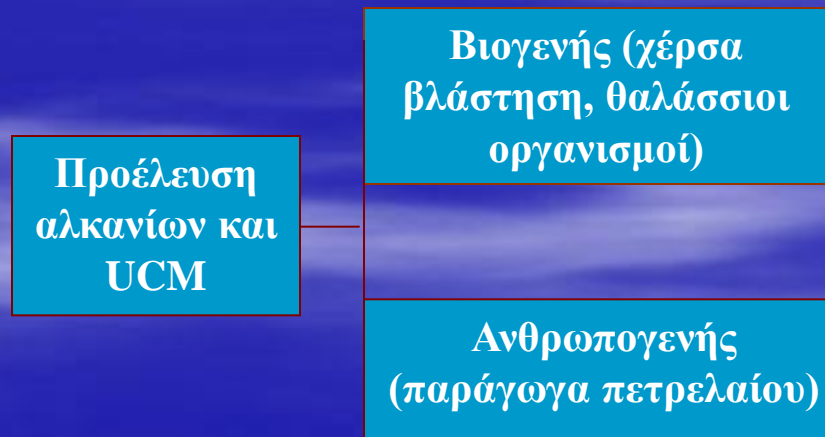
- Υψηλής παροχής (1000 l/min)
- Μεσαίας παροχής (100 l/min)
- Χαμηλής παροχής (20 l/min)

### 2. Ισοδύναμες

- Συνεχείς μετρήσεις π.χ. με χρήση ακτινών βήτα

# Αλκάνια στα αερολύματα

- Κύρια συστατικά της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου.
- Ανιχνεύονται σε όλα τα περιβαλλοντικά δείγματα (αστικά, θαλάσσια, δασικά, αγροτικά).
- Ανιχνευτές κίνησης αερίων μαζών λόγω χαμηλής δραστηριότητας.
- Το UCM ανήκει στους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες.



## Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ)

- ❖ Σταθερά μόρια αποτελούμενα από άνθρακα και υδρογόνο (συνένωση αρωματικών δακτυλίων).
- ❖ Υψηλό μοριακό βάρος, χαμηλή τάση ατμών (ημιπτητικές ενώσεις), μικρή διαλυτότητα στο νερό.
- ❖ Σχηματισμός κατά την ατελή καύση σε κινητές ή σταθερές πηγές (καύση πετρελαίου, απορριμμάτων κ.ά.).
- ❖ Εκρήξεις ηφαιστείων, πυρκαγιές δασών (βιογενής προέλευση)  
Χημική σύσταση ορυκτών καυσίμων.
- ❖ Προσρόφηση στα αιωρούμενα σωματίδια.

# Σωματίδια και αερολύματα

Αερόλυμα: το εναιώρημα στερεής ή υγρής φάσης στην αέρια φάση.

Σωματίδιο: η στερεή ή υγρή φάση του αερολύματος.

- Περιβάλλον: Αρνητικές επιδράσεις σε ζώα και φυτά (ειδικά όταν είναι τοξικής φύσης), διάβρωση υλικών (μνημεία), μείωση ορατότητας.

## Σωματίδια στην περιοχή συσσώρευσης ( $D = 0,1 - 2 \mu\text{m}$ )

- Αιωρούνται μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Σκεδάζουν και απορροφούν το ηλιακό φως.
- Συνδέονται με την πρόκληση ασθενειών (καρδιοαναπνευστικά νοσήματα, καρκινογενέσεις).
- Στην επιφάνειά τους λαμβάνουν χώρα πλήθος χημικών δράσεων (μεγάλη διαθέσιμη επιφάνεια).
- Συνεισφέρουν στην δημιουργία φωτοχημικού και σωματιδιακού νέφους, με άμεση συνέπεια την μειωμένη ορατότητα.
- Προκαλούν αισθητικές αλλοιώσεις στην εικόνα της περιοχής.
- Πιθανώς συνδέονται και με τη μείωση της αγροτικής παραγωγής.

# Ημιπτητικές οργανικές ενώσεις

Τάση ατμών:  $10^{-8} - 10^{-2}$  mm Hg (25 °C).

Αέρια – σωματιδιακή κατανομή:

- ✓ Τάση ατμών.
  - ✓ Θερμοκρασία.
  - ✓ Μέγεθος και συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων.
  - ✓ Χημική συγγένεια της προσροφούμενης ένωσης με τη φύση των σωματιδίων για το σχηματισμό δευτερογενών αερολυμάτων.
  - ✓ Δειγματοληπτική μέθοδος.
- 
- ❖ Αλκάνια υψηλού μοριακού βάρους
  - ❖ Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες

## Στόχος της εργασίας

- Η διερεύνηση του επιπέδου των συγκεντρώσεων των  $PM_{2,5}$  σωματιδίων, καθώς και αυτών των Πολυκυκλικών Αρωματικών Υδρογονανθράκων και Αλκανίων.
- Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ως προς τα διεθνή θεσμοθετημένα πρότυπα.
- Η εκτίμηση των κύριων πηγών εκπομπής των ενώσεων αυτών με τη βοήθεια μοριακών διαγνωστικών λόγων και δεικτών.
- Η διερεύνηση των μεταβολών των συγκεντρώσεων σε σχέση με την εποχή του έτους.

# Δειγματοληψίες

➤ 1η δειγματοληψία

Νοέμβριος 2003, Δεκέμβριος 2003 και Ιανουάριος 2004  
(συλλογή 49 δειγμάτων – Αριστοτέλους)

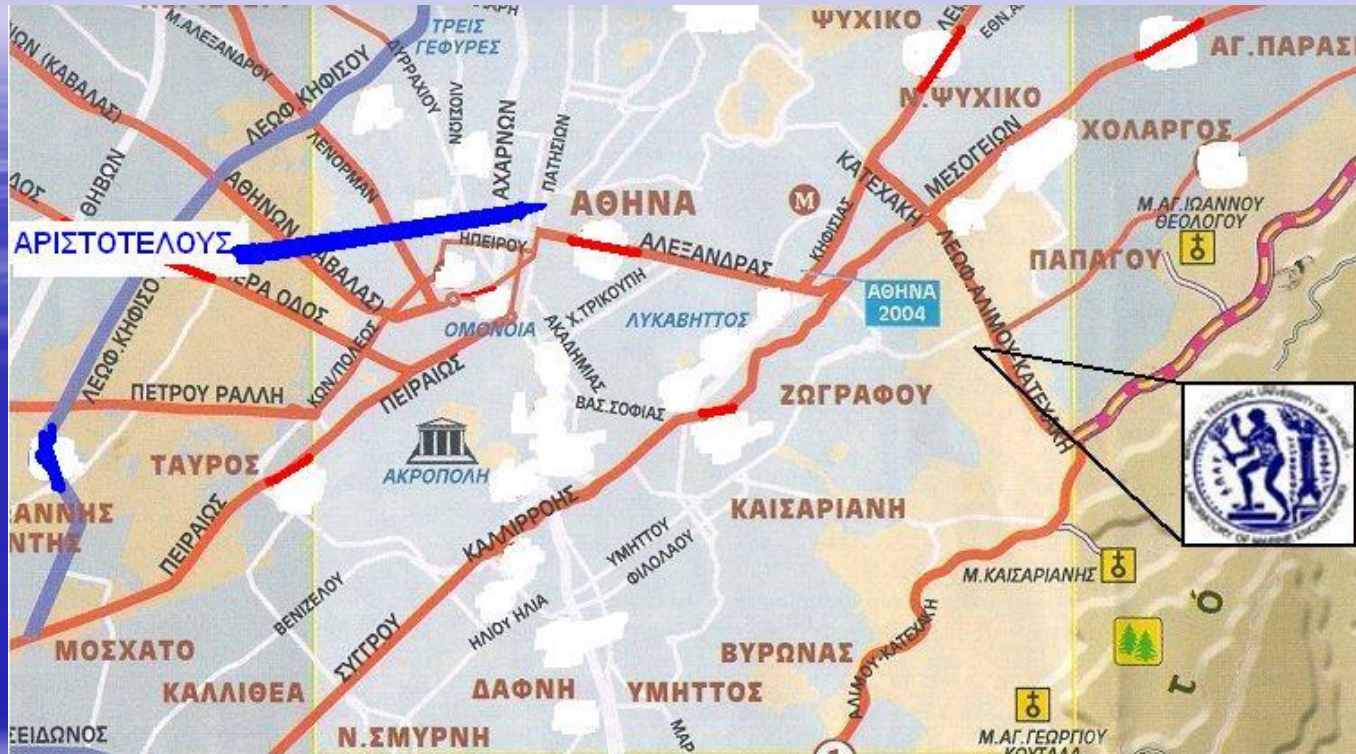
➤ 2η δειγματοληψία

Μάρτιος 2004  
(συλλογή 8 δειγμάτων Αριστοτέλους και 9 δειγμάτων  
από Ζωγράφου)

- ✓ 24ωρη δειγματοληψία και στους δύο σταθμούς.
- ✓ Δειγματοληψία: στα 21 και 7 μέτρα από το έδαφος σε Αριστοτέλους και Ζωγράφου αντίστοιχα.



# Σημεία δειγματοληψίας



## Λεκανοπέδιο Αττικής:

- ✓ “κλειστή” περιοχή
- ✓ 4 εκ. κατοίκους
- ✓ 2,5 εκ. αυτοκίνητα

- ✓ Αριστοτέλους: αυξημένη κυκλοφορία οχημάτων.
- ✓ Ζωγράφου: τιμές αστικού υποβάθρου.

## Δειγματολήπτες Partisol-Plus Air Sampler της εταιρείας R&P (Rupprecht & Patashnick)



Αριστοτέλους - Model 2000



Ζωγράφου - Model 2025

- Δειγματολήπτες χαμηλού όγκου (ροή αέρα: 16,7 l/min ή 1 m<sup>3</sup>/h).
- Model 2025: διαθέτει αυτόματο πνευματικό σύστημα εναλλαγής φίλτρων.
- Φίλτρα από ίνες υάλου με επικάλυψη teflon (PTFE filters) διαμέτρου 47 mm (Pallflex).

# Δειγματοληψίες

- $PM_{2,5} = (W_T - W_A) \cdot 10^6 / V$ ,  
όπου  $W_T$  και  $W_A$  το βάρος του φίλτρου τελικά και αρχικά (σε γραμμάρια)  
και  $V$  ο όγκος του αέρα σε κυβικά μέτρα. Η συγκέντρωση θα έχει μονάδες  
 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ .



## Χημική ανάλυση

Εργαστήριο  
Περιβαλλοντικών Χημικών  
Διεργασιών  
(Τμήμα Χημείας του  
Πανεπιστημίου Κρήτης)

# Αναλυτική μεθοδολογία

Προσθήκη Εσωτερικών Προτύπων  
κ-αλκάνια: Hexadecane, Tetracosane  
ΠΑΥ: D<sub>10</sub>-Ph, D<sub>10</sub>-Py, D<sub>12</sub>-Per

Στήλη Υγρής  
Χρωματογραφίας  
(silica – SiO<sub>2</sub>)



Συμπύκνωση  
έως 1ml



Εκλούση με 8  
ml εξάνιο

Εκλούση με 7 ml  
εξάνιο και 15 ml  
τολουόλιο:εξάνιο=  
(5,6:9,4)



Εκχύλιση για 50 min με 90 ml  
εξάνιου υψηλής καθαρότητας (2  
φάσεις εκχύλισης)



κ-αλκάνια



ΠΑΥ

Συμπύκνωση  
με άζωτο  
σχεδόν έως  
ξηρού



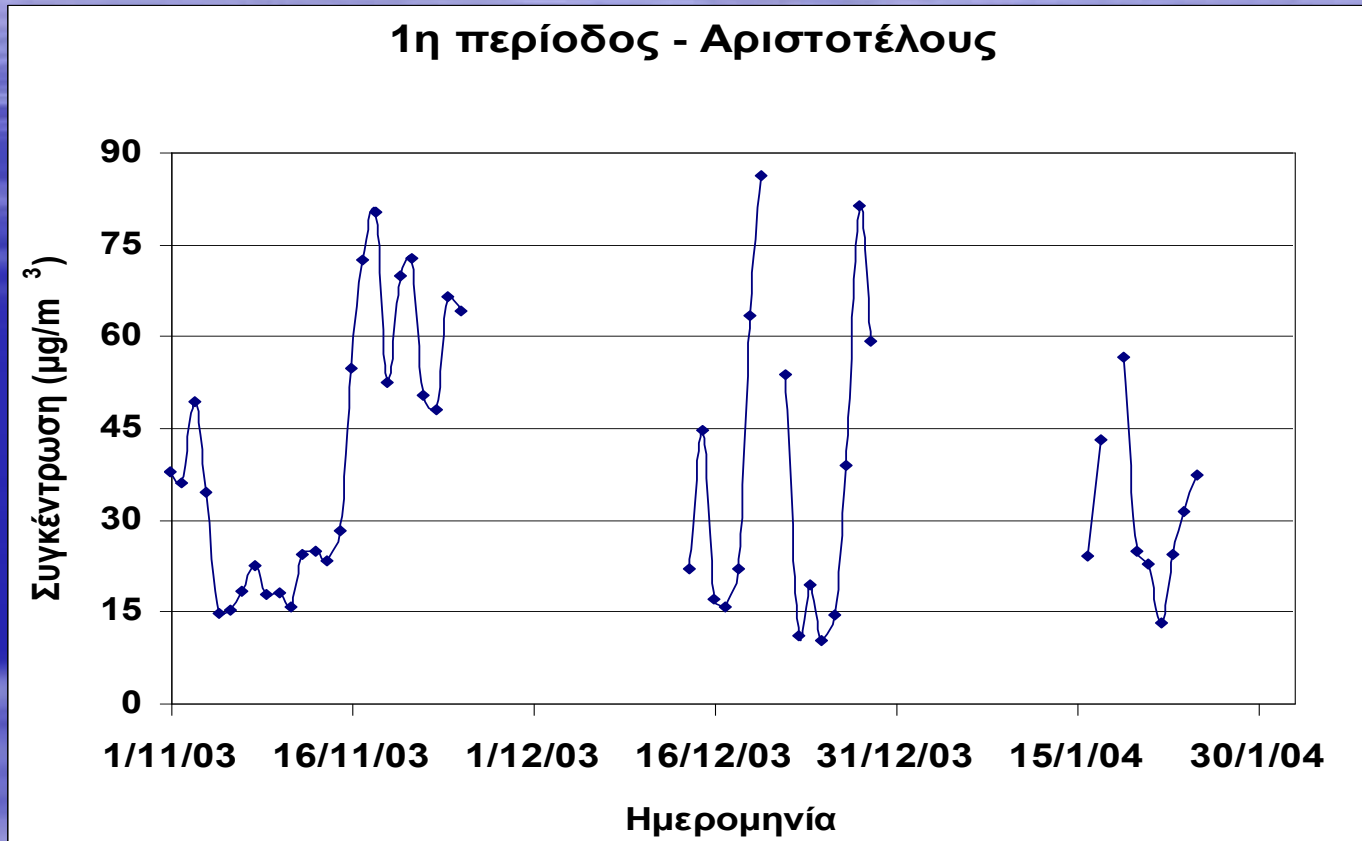
GC-FID

Συμπύκνωση  
με άζωτο  
σχεδόν έως  
ξηρού



GC-MS

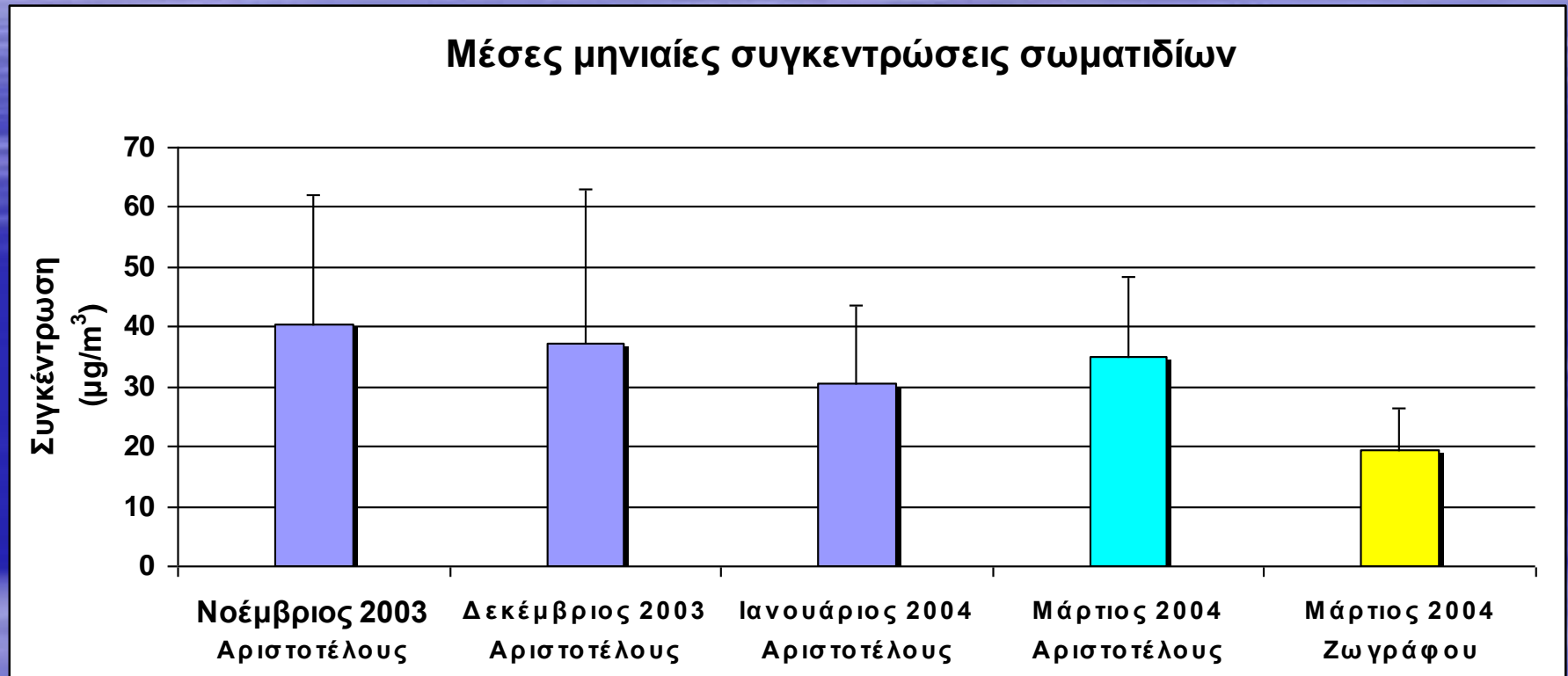
# Χρονοσειρά λεπτόκοκκων σωματιδίων



❖ Σημαντικές μεταβολές στη συγκέντρωση των σωματιδίων.

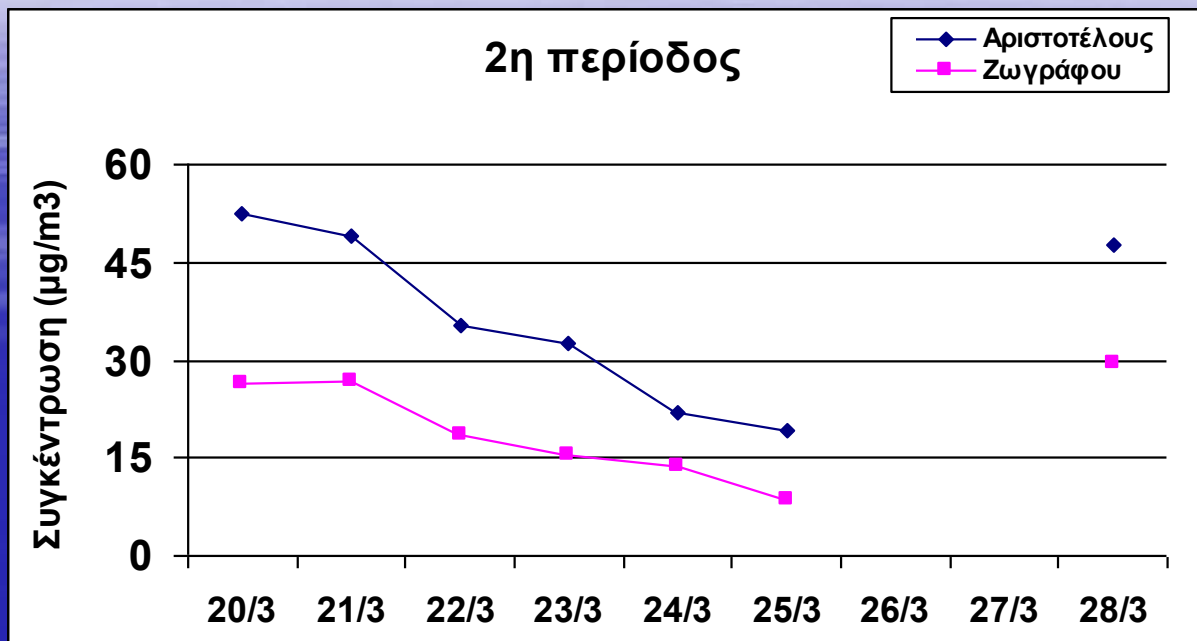
❖ Περί τις 8 υπερβάσεις του ορίου (κατά US-EPA).

# Συγκέντρωση των $PM_{2,5}$ σωματιδίων σε $\mu g/m^3$



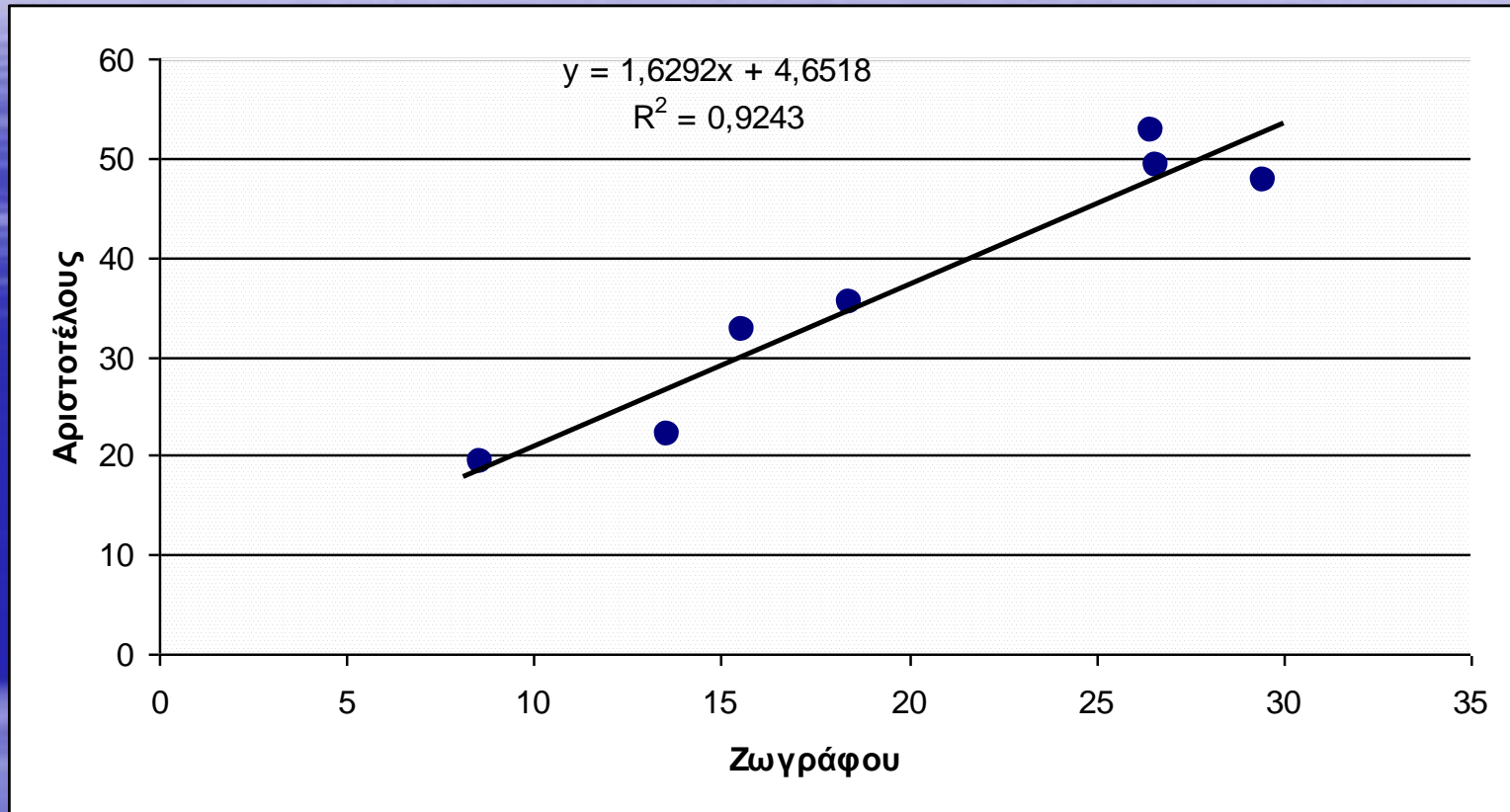
Για την περιοχή του κέντρου της Αθήνας οι συγκεντρώσεις είναι περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερες από το πρότυπο κατά US-EPA ( $15\mu g/m^3$ ), ενώ αυτές στην περιοχή Ζωγράφου (αστικό υπόβαθρο) κινούνται στα όρια του προτύπου.

## Συγκέντρωση των $PM_{2,5}$ σωματιδίων σε $\mu g/m^3$



- Ομοιόμορφη κατανομή των συγκεντρώσεων για τα δύο σημεία δειγματοληψίας.

# Διερεύνηση πιθανής συσχέτισης μεταξύ των δύο σταθμών



- Ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των μετρούμενων τιμών.
- Μικρός αριθμός ημερών.

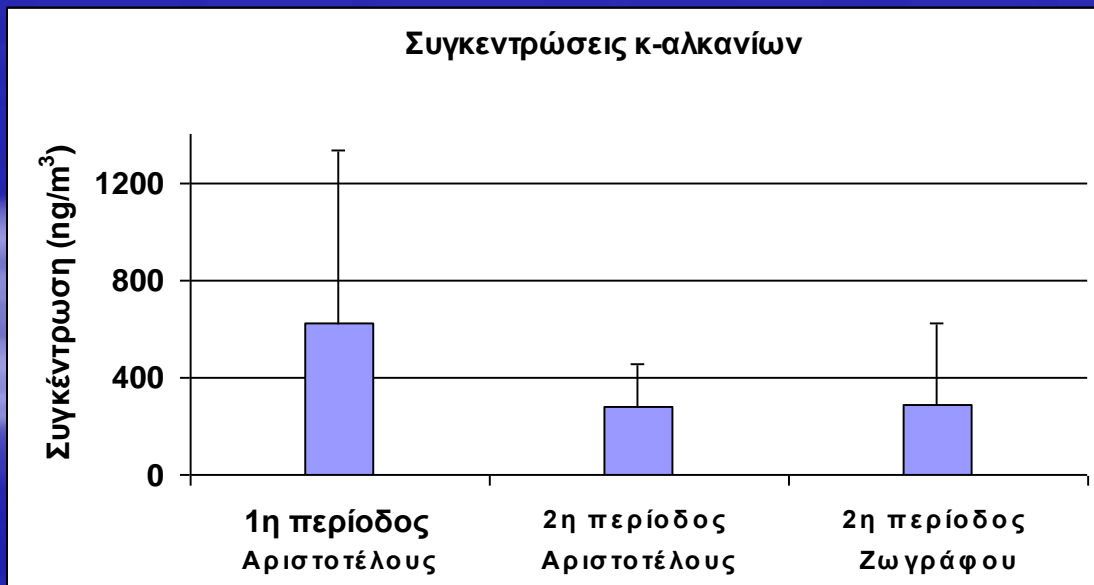


## Σύγκριση με άλλες εργασίες

Aθήνα – PM <sub>2,5</sub>	40,2 μg/m <sup>3</sup>	<i>Chaloulakou et al., 2002, 2003</i>
Aθήνα – TSP	66,5 μg/m <sup>3</sup>	<i>Mandalakis et al., 2002</i>
Vienna, Austria – PM <sub>2,5</sub>	19 μg/m <sup>3</sup>	<i>Puxbaum et al., 2004</i>
Guangzhou, China – PM <sub>2,5</sub>	83,3 – 176 μg/m <sup>3</sup>	<i>Chunlei Li et al., 2005</i>
Shizuoka, Japan – PM <sub>2,5</sub>	14 – 97 μg/m <sup>3</sup>	<i>Ohura et al., 2004</i>

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΛΚΑΝΙΩΝ

	Μέση τιμή - Διακύμανση	Ελάχιστη	Μέγιστη τιμή
1 <sup>η</sup> περίοδος Αριστοτέλους	624,1 ± 715,8 ng/m <sup>3</sup>	86,9 ng/m <sup>3</sup>	3439,3 ng/m <sup>3</sup>
2 <sup>η</sup> περίοδος Αριστοτέλους	280,3 ± 174,6 ng/m <sup>3</sup>	116,4 ng/m <sup>3</sup>	636,2 ng/m <sup>3</sup>
2 <sup>η</sup> περίοδος Ζωγράφου	288,5 ± 334,2 ng/m <sup>3</sup>	52,8 ng/m <sup>3</sup>	1156,1 ng/m <sup>3</sup>



➤ Υψηλότερες συγκεντρώσεις κατά την 1<sup>η</sup> περίοδο

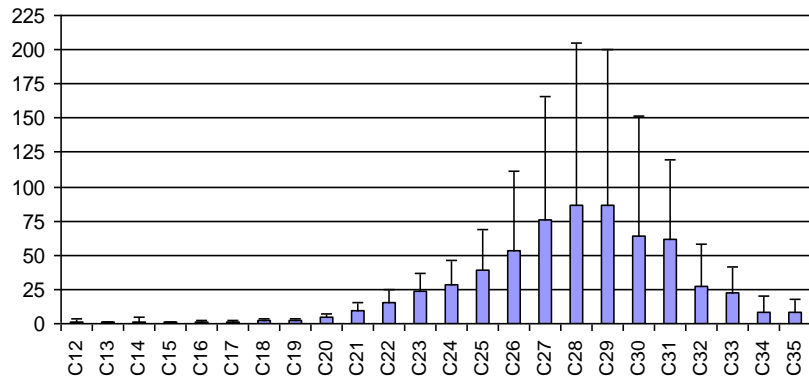
# Αριστοτέλους - 1<sup>η</sup> περίοδος

Μέλος	Μέσος όρος (ng/m <sup>3</sup> )	stdev	min	max	%
C12	1,227	2,160	0,000	7,884	0,196
C13	0,840	0,706	0,000	2,231	0,134
C14	1,384	3,121	0,000	11,684	0,221
C15	0,606	0,430	0,000	1,343	0,097
C16	0,944	0,995	0,000	4,197	0,151
C17	1,306	0,642	0,451	2,537	0,209
C18	1,890	1,152	0,603	4,669	0,302
C19	2,500	1,444	0,696	5,807	0,400
C20	4,406	2,195	1,188	8,139	0,705
C21	9,482	5,402	2,472	19,152	1,517
C22	15,851	9,023	5,392	34,214	2,536
C23	23,168	13,466	6,695	50,031	3,706
C24	28,864	17,463	7,206	68,550	4,618
C25	39,237	29,360	8,155	115,728	6,277
C26	53,213	57,557	6,803	216,684	8,513
C27	75,565	90,230	8,410	336,593	12,089
C28	86,815	117,473	6,361	431,594	13,889
C29	86,612	113,057	8,947	425,957	13,856
C30	63,607	87,740	4,743	331,938	10,176
C31	61,216	58,283	4,973	234,345	9,793
C32	26,899	31,703	3,726	122,803	4,303
C33	22,858	18,790	4,513	75,249	3,657
C34	8,655	11,127	0,645	42,793	1,385
C35	7,940	9,840	0,657	41,497	1,270
Σ αλκανίων	625,08	715,9	86,92	3439,31	

Χαμηλές συγκεντρώσεις  
για τα πρώτα μέλη

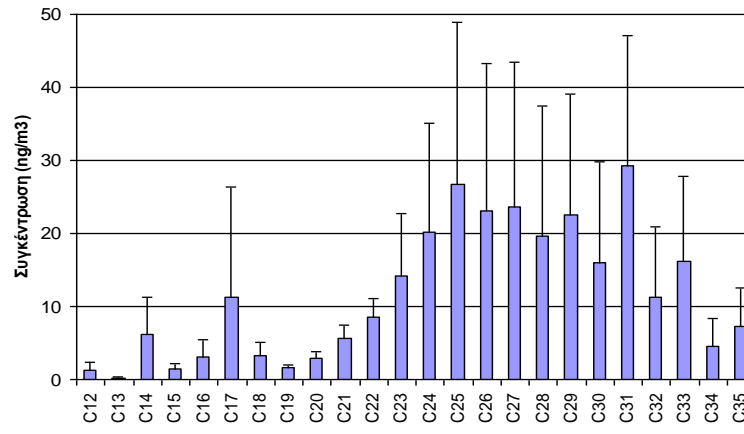
Υψηλές συγκεντρώσεις  
για τα μέλη C<sub>25</sub> - C<sub>31</sub>  
(Τα 7 αυτά μέλη  
συνεισφέρουν το 75 %  
περίπου του συνόλου της  
μάζας των αλκανίων)

Αριστοτέλους - 1η περίοδος

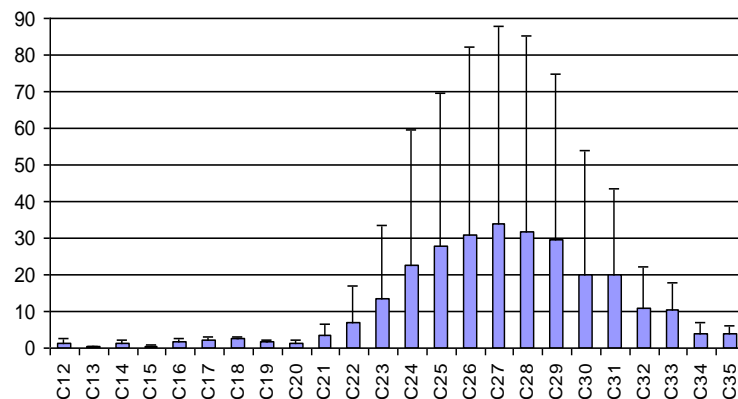


(συγκέντρωση σε ng/m<sup>3</sup>)

Αριστοτέλους - 2η περίοδος



Ζωγράφου - 2η περίοδος



➤ **Μεγάλη διακύμανση των τιμών**  
(Αντίστοιχη μεταβλητότητα στο πλήθος των οχημάτων που κυκλοφορούν και στη συχνότητα χρήσης κεντρικής θέρμανσης, μεταβαλλόμενες μετεωρολογικές συνθήκες, ποικιλία ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται).

- ✓ Δεν παρατηρείται επικράτηση των μονών έναντι των ζυγών ομολόγων για την 1<sup>η</sup> περίοδο.
- ✓ Την 2<sup>η</sup> περίοδο παρατηρείται μερική επικράτηση των μονών.

# Δείκτες κ-αλκανίων

1<sup>η</sup> περίοδος

Δείκτες	Αριστοτέλους
CPI 1	1,283 ± 0,215
CPI 2	1,456 ± 0,364
CPI 3	1,267 ± 0,245

CPI πλησίον  
της μονάδας

2<sup>η</sup> περίοδος

Δείκτες	Ζωγράφου	Αριστοτέλους
CPI 1	1,162 ± 0,122	1,372 ± 0,172
CPI 2	1,287 ± 0,189	1,265 ± 0,219
CPI 3	1,154 ± 0,155	1,422 ± 0,268

- CPI > 3 → ΒΙΟΓΕΝΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ
- CPI ≈ 1 → ΚΑΥΣΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

❖ Συνεισφορά των τροχοφόρων στη ρύπανση και των δύο περιοχών.

## ΔΕΙΚΤΕΣ Κ-ΑΛΚΑΝΙΩΝ

### 1<sup>η</sup> περίοδος

Δείκτες	Αριστοτέλους
UCM/N-A	4,007 ± 3,701
%WAX	15,149 ± 8,008

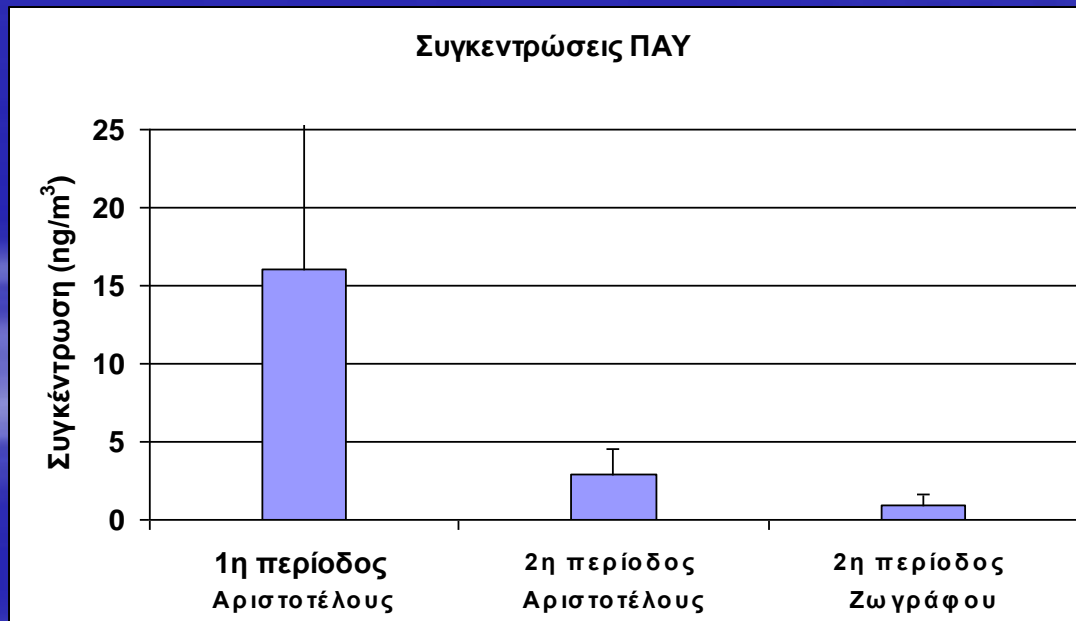
### 2<sup>η</sup> περίοδος

Δείκτες	Ζωγράφου	Αριστοτέλους
UCM/N-A	1,438 ± 2,081	11,381 ± 22,813
%WAX	11,920 ± 4,902	21,685 ± 7,511

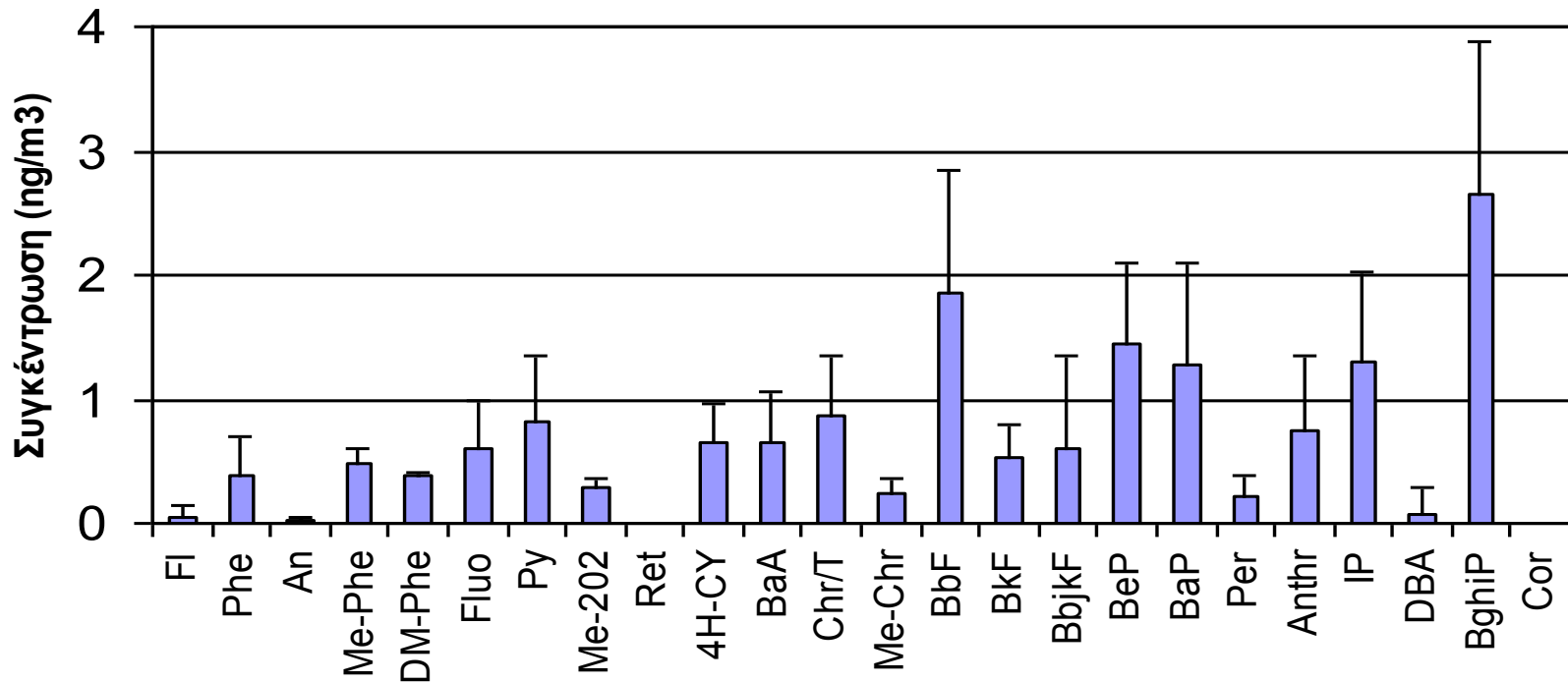
- UCM : ρύπανση άκαυστων πετρελαιοειδών.
  - Τιμές UCM / N-A > 4 δηλώνουν σημαντική συνεισφορά τροχοφόρων.
  - Μικρότερη επιβάρυνση στην περιοχή Ζωγράφου.
  - Υψηλές τιμές στην Αριστοτέλους – Συμφωνία με βιβλιογραφία.
- % WAX : σχετική σημασία βιογενών – ανθρωπογενών εκπομπών.

# Αποτελέσματα ΠΑΥ

	Μέση τιμή - Διακύμανση	Ελάχιστη	Μέγιστη τιμή
1 <sup>η</sup> περίοδος - Αριστοτέλους	16,013 ± 10,138 ng/m <sup>3</sup>	5,21 ng/m <sup>3</sup>	52,73 ng/m <sup>3</sup>
2 <sup>η</sup> περίοδος - Αριστοτέλους	2,909 ± 1,655 ng/m <sup>3</sup>	1,56 ng/m <sup>3</sup>	6,10 ng/m <sup>3</sup>
2 <sup>η</sup> περίοδος - Ζωγράφου	0,958 ± 0,702 ng/m <sup>3</sup>	0,47 ng/m <sup>3</sup>	2,73 ng/m <sup>3</sup>



## Αριστοτέλους - 1η περίοδος

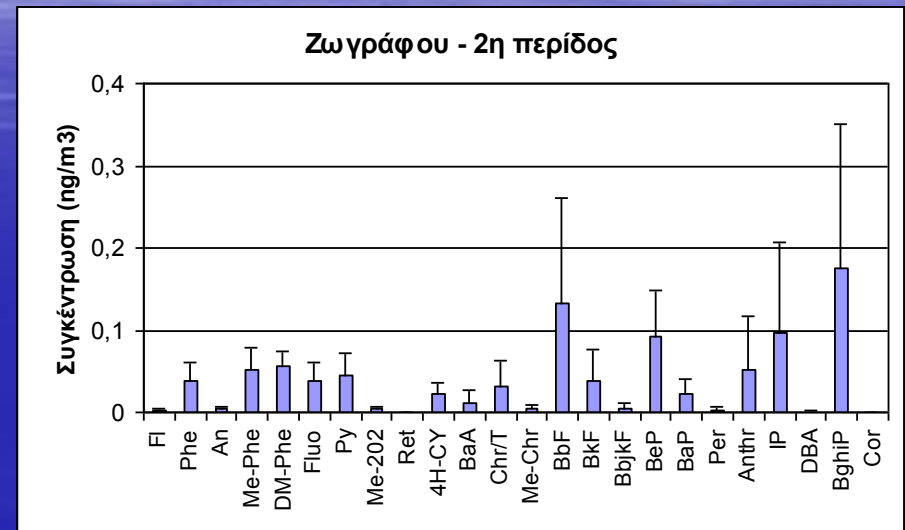
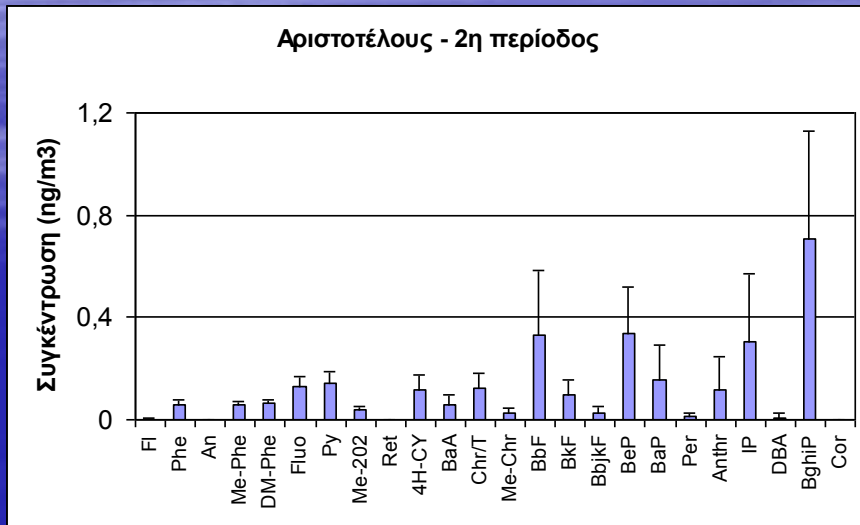


❖ Τα μέλη που επικρατούν είναι τα:  
Benzo(ghi)perylene, Indeno(1, 2, 3-cd)pyrene,  
Benzo(b)fluoranthene, Benzo(e)pyrene και Benzo(a)pyrene.

❖ Τα 5 αυτά μέλη καταλαμβάνουν το 54 % περίπου της συνολικής μάζας των ΠΑΥ στην σωματιδιακή φάση.



# Συγκεντρώσεις ΠΑΥ – 2<sup>η</sup> δειγματοληπτική περίοδος



❖ Υψηλότερες συγκεντρώσεις στην Αριστοτέλους.

❖ Ομοιομορφία στην κατανομή των ομολόγων για τις δύο περιοχές.

## Δείκτες ΠΑΥ

Περίοδος	CPAH/TPAH	Mphe/Phe	Fl/Fl+Py	IP/IP+BP
1 <sup>η</sup> περίοδος – Αριστοτέλους	0,78	1,22	0,42	0,33
2 <sup>η</sup> περίοδος – Αριστοτέλους	0,72	1,11	0,48	0,28
2 <sup>η</sup> περίοδος – Ζωγράφου	0,51	2,42	0,45	0,34

Παρατηρείται αφθονία μη-αλκυλιωμένων ισομερών



Πυρολυτική προέλευση των ΠΑΥ



- $Mphe/Phe > 1$  : συνεισφορά καταλυτικών οχημάτων
- $0,40 < Fl/Fl+Py < 0,50$   
 $0,20 < IP/IP+BP < 0,50$  } καύση υγρών καυσίμων
- $Fl/Fl+Py \approx 0,40$  : μικρή συμμετοχή άκαυστου πετρελαίου

# Δείκτες ΠΑΥ

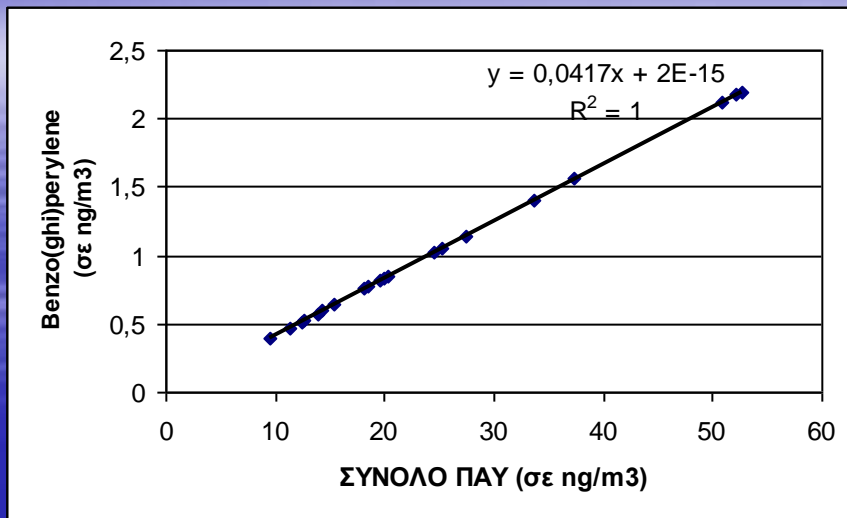
Περίοδος	BA/BA+CT	BeP/BeP+BaP	An/An+Ph	1,7DMP/1,7+2,6DMP
1 <sup>η</sup> περίοδος – Αριστοτέλους	0,42	0,54	0,08	0,53
2 <sup>η</sup> περίοδος – Αριστοτέλους	0,27	0,71	0,04	0,38
2 <sup>η</sup> περίοδος – Ζωγράφου	0,23	0,78	0,09	0,40

- $0,70 < 1,7DMP/1,7+2,6DMP < 0,90$  : καύση ξύλου  
 $1,7DMP/1,7+2,6DMP > 0,45$  : εκπομπές τροχοφόρων οχημάτων

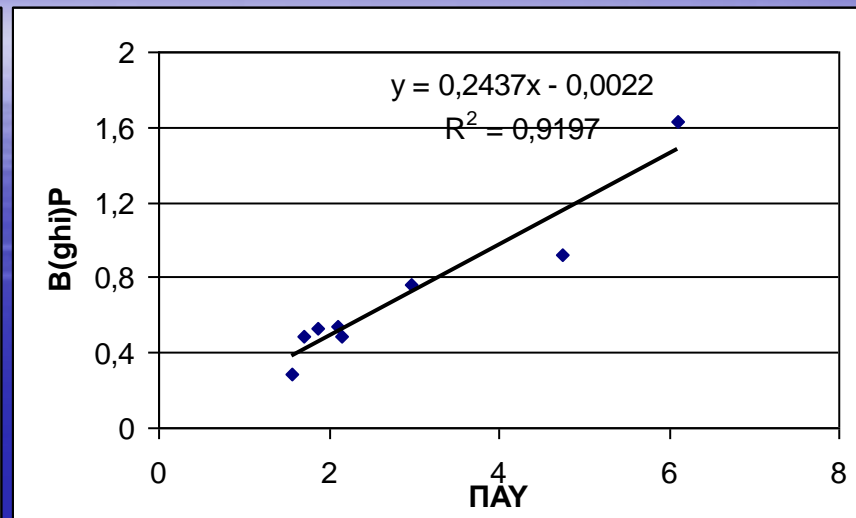
- $0,82 < BeP/BeP+BaP < 0,93$  : “μεγάλη ηλικία” αερολύματος  
 $BeP/BeP+BaP > 0,50$  : αστικές περιοχές

- $BA/BA+CT < 0,20$   
 $An/An+Ph < 0,10$   υπολείμματα πετρελαίου
- $BA/BA+CT > 0,35$   
 $An/An+Ph > 0,10$   καύση πετρελαίου

# Συσχέτιση ΠΑΥ - Benzo(ghi)perylene



Νοέμβριος 2003



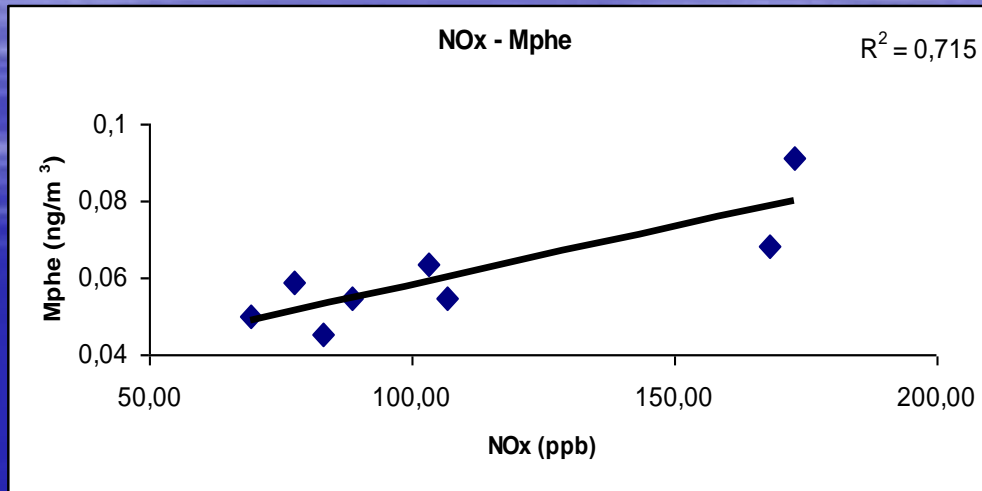
Μάρτιος 2004

- Πολύ καλή συσχέτιση.
- Σημαντική συνεισφορά των πετρελαιοκίνητων τροχοφόρων οχημάτων.

Περίοδος	BghiP/BeP
1 <sup>η</sup> περίοδος – Αριστοτέλους	<b>1,84</b>
2 <sup>η</sup> περίοδος – Αριστοτέλους	<b>2,08</b>
2 <sup>η</sup> περίοδος – Ζωγράφου	<b>1,90</b>

✓ Το μεγαλύτερο ποσοστό των ΠΑΥ προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων από τα τροχοφόρα της πόλης.

## Συσχέτιση οξειδίων αζώτου – μεθυλ-φαινανθρενίων



Αριστοτέλους - Μάρτιος 2004

- Ικανοποιητική συσχέτιση.
- Δείκτης κυκλοφοριακής κίνησης πόλης.

## Ποσοστό των επικίνδυνων για καρκινογένεση ΠΑΥ

ΠΑΥ	Αριστοτέλους 1 <sup>η</sup> περίοδος	Αριστοτέλους 2 <sup>η</sup> περίοδος	Ζωγράφου 2 <sup>η</sup> περίοδος
Benzo(a)anthracene	0,651	0,060	0,0123
<b>Benzo(b)fluoranthene</b>	1,858	0,328	0,1324
Benzo(k)fluoranthene	0,519	0,096	0,0372
<b>Benzo(a)pyrene</b>	1,272	0,156	0,0227
<b>Indeno(1,2,3cd)pyrene</b>	1,300	0,304	0,0964
Dibenzo(a,h)anthracene	0,078	0,007	0,0005
<b>Σύνολο ΠΑΥ</b>	16,103	2,909	0,9580
<b>Σύνολο 6 ΠΑΥ</b>	5,678	0,951	0,3015
<b>% 6 ΠΑΥ / Σ ΠΑΥ</b>	<b>35,3</b>	<b>32,7</b>	<b>31,5</b>

➤ Σημαντικό ποσοστό (από 31,5 % έως 35,3 %).

## Συσχετίσεις Pearson για τους ΠΑΥ με μετεωρολογικές παραμέτρους και αέριους ρύπους.

Pearson	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub>	T	RH	PM <sub>2,5</sub>	TSD
Σύνολο ημερών	0,531	0,310	0,526	0,111	0,374	-0,259	0,177	-0,142	0,436	0,350
Εργάσιμες ημέρες	<b>0,640</b>	0,324	<b>0,626</b>	0,222	0,416		0,160	-0,085	0,493	0,280

## Συσχετίσεις Pearson για τα σωματίδια PM<sub>2,5</sub> με μετεωρολογικές παραμέτρους και αέριους ρύπους.

Pearson	T	RH	TSD	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub>
Σύνολο ημερών	0,311	-0,140	0,598	<b>0,877</b>	<b>0,685</b>	<b>0,887</b>	0,460	<b>0,869</b>	-0,575

- ✓ Κοινές πηγές των οξειδίων του αζώτου και του μονοξειδίου του άνθρακα με τα σωματίδια PM<sub>2,5</sub>

# Συμπεράσματα

- Οι τιμές που βρέθηκαν για την συγκέντρωση των αιωρούμενων  $PM_{2,5}$  σωματιδίων βρίσκονται σε συμφωνία με βιβλιογραφικά δεδομένα που αναφέρονται σε μεγαλουπόλεις.
- Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{2,5}$  είναι περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερες από το πρότυπο US-EPA για την περιοχή του κέντρου της Αθήνας, ενώ αυτές του Ζωγράφου (αστικό υπόβαθρο) κινούνται στα όρια του προτύπου.
- Υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των τιμών των συγκεντρώσεων των  $PM_{2,5}$  σωματιδίων στις δύο περιοχές δειγματοληψίας (ύπαρξη κοινών πηγών ρύπανσης).
- Το μεγαλύτερο μέρος των σωματιδίων εκπέμπεται τοπικά (τροχοφόρα, λέβητες, βιομηχανικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες).
- Υψηλότερες συγκεντρώσεις αλκανίων και ΠΑΥ την πρώτη περίοδο δειγματοληψίας (χειμερινή) σε σχέση με την δεύτερη (τέλος Μαρτίου). Αντίθετα η συγκέντρωση των σωματιδίων παραμένει στα ίδια επίπεδα για τις δύο περιόδους.



## Συμπεράσματα (συνέχεια)

- Μεγάλη διακύμανση στις τιμές που μετρώνται.
- Το μεγαλύτερο μέρος των κ-αλκανίων αποτελούν τα μέλη  $C_{25} - C_{31}$ , με μεγάλο μοριακό βάρος, ενώ τα αλκάνια  $C_{12} - C_{20}$  αποτελούν μικρό μέρος της σωματιδιακής φάσης.
- Τα μέλη που κυριαρχούν στους ΠΑΥ είναι εκείνα με 5 ή 6 δακτυλίους (Benzo(ghi)perylene, Indeno(1,2,3-cd)pyrene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(e)pyrene και Benzo(a)pyrene).
- Οι εκπομπές τροχοφόρων συνεισφέρουν και στις δύο εξεταζόμενες θέσεις σε μεγάλο βαθμό (Μικρότερη πετρελαϊκή επιβάρυνση του περιβάλλοντος στην περιοχή του Ζωγράφου).

## Συμπεράσματα (συνέχεια)

- Σημαντική συνεισφορά τόσο των καταλυτικών αυτοκινήτων όσο και των πετρελαιοκίνητων φορτηγών και λεωφορείων στα επίπεδα των ΠΑΥ.
- Ρύπανση και από άκαυστα πετρελαιοειδή.
- Ποικιλία αερίων μαζών στην περιοχή του Ζωγράφου σε σχέση με την Αριστοτέλους.
- Η συγκέντρωση των μεθυλ-φαινανθρενίων δείκτης της κυκλοφοριακής κίνησης της πόλης.
- Ιδιαίτερα υψηλό το ποσοστό των μελών των ΠΑΥ που πιθανόν ευθύνονται για καρκινογενέσεις.

## Ημερομηνία - Σταθμός

Μέση τιμή

Ελάχιστη – Μέγιστη τιμή

1η περίοδος - Αριστοτέλους :

$37,6 \pm 21,6$

10,2 – 86,0  $\mu\text{g m}^{-3}$

2η περίοδος - Αριστοτέλους :

$35,1 \pm 13,4$

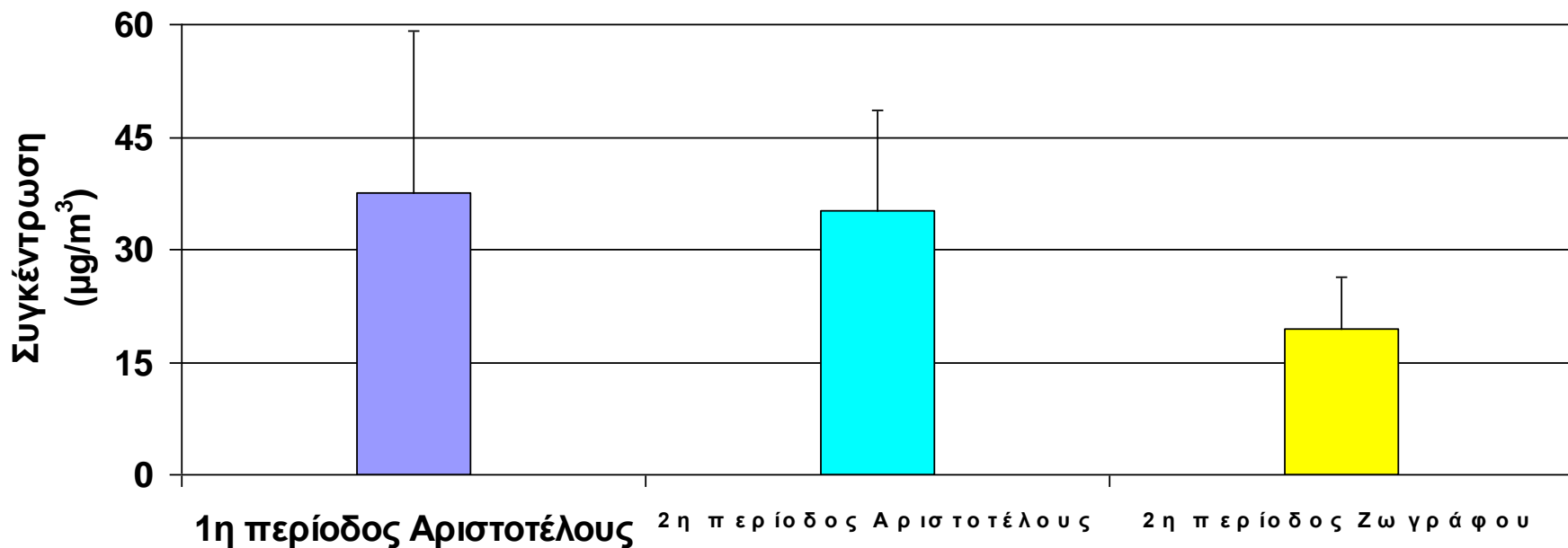
19,3 – 52,6  $\mu\text{g m}^{-3}$

2η περίοδος - Ζωγράφου :

$19,5 \pm 6,9$

8,6 – 29,5  $\mu\text{g m}^{-3}$

Μέσες συγκεντώσεις σωματιδίων ανά περίοδο



κ-αλκάνια: 280,3 – 624,1 ng/m<sup>3</sup>  
 ΠΑΥ : 0,96 – 16,01 ng/m<sup>3</sup>

κ-αλκάνια	452,3 – 1439,1 ng/m <sup>3</sup>	Santiago, Chile	Kavouras et al., 1999
	69 – 702 ng/m <sup>3</sup>	Taipei, Taiwan	Li-Hao Young et al., 2001
	44,6 – 184,5 ng/m <sup>3</sup>	Hong Kong	Mei Zheng et al., 2000
	63,7 – 588,8 ng/m <sup>3</sup>	Guangzhou, China	Xinhui Bi et al., 2004
	257,9 – 282,8 ng/m <sup>3</sup>	Santiago, Temuco, Chile	Tsapakis et al., 2002
	65 – 80 ng/m <sup>3</sup>	Φλώρινα	Kalaitzoglou et al., 2004 (TSP)
	9,45 – 182,64 ng/m <sup>3</sup>	Prato, Italy	Cincinelli et al., 2003 (PM10)
	141,8 – 469,0 ng/m <sup>3</sup>	Αθήνα	Mandalakis et al., 2002 (PM10)

ΠΑΥ	0,68 – 11,14 ng/m <sup>3</sup>		Santiago, Chile	Kavouras et al., 1999
	15,83 – 84,83 ng/m <sup>3</sup>		Guangzhou, China	Chunlei Li et al., 2004
	0,7 – 12,2 ng/m <sup>3</sup>		Hong Kong	Mei Zheng et al., 2000
	3,06 – 22,05 ng/m <sup>3</sup>		Prato, Italy	Cincinelli et al., 2003 (PM10)
	3,09 – 24,8 ng/m <sup>3</sup>		Φλώρινα	Kalaitzoglou et al., 2004 (TSP)
	1,3 – 5 ng/m <sup>3</sup>		Αθήνα	Mandalakis et al., 2002 (PM10)
	128,8 – 750,9 ng/m <sup>3</sup>		Santiago, Temuco, Chile	Tsapakis et al., 2002
	3 – 330 ng/m <sup>3</sup> (οδική αρτηρία)	0,5 – 122 ng/m <sup>3</sup> (μικτή περιοχή)	Hong Kong	H. Guo et al., 2003