



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

MM900

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ

1^η ΕΝΟΤΗΤΑ, Μέρος 2
ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΟΙ ΡΥΠΟΙ
(Particulate matter)

Νίκος Ανδρίτσος
Καθ. Τμ. Μηχ. Μηχ. Π.Θ.



- **Σωματιδιακή ύλη** (Particulate matter, PM) ή **αιωρούμενα σωματίδια** (ΑΣ): οποιουδήποτε μεγέθους υλικό στον αέρα σε στερεή ή υγρή μορφή (από μερικά nm μέχρι κάποιες δεκάδες μm). Τα σωματίδια με $d < 10 \mu\text{m}$ σχηματίζουν τα λεγόμενα **αερολύματα** (Aerosols, συμπεριφέρονται σαν να ήταν διαλυμένα στον αέρα) [ομίχλη, καπνός, νέφος κτλ.]
- **Ποικιλία** σχημάτων, μεγεθών, φυσικών ιδιοτήτων και χημικής σύστασης
- **Στερεά** (ξηρή σκόνη) ή **σταγονίδια**
- Τα σωματίδια συμμετέχουν σε φωτοχημικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα τη τροποποίηση της χημικής τους σύστασης και του μεγέθους (πυρηνογένεση, συμπύκνωση, εξάτμιση, συσσωμάτωση, απόθεση, συμμετοχή σε χημικές αντιδράσεις)

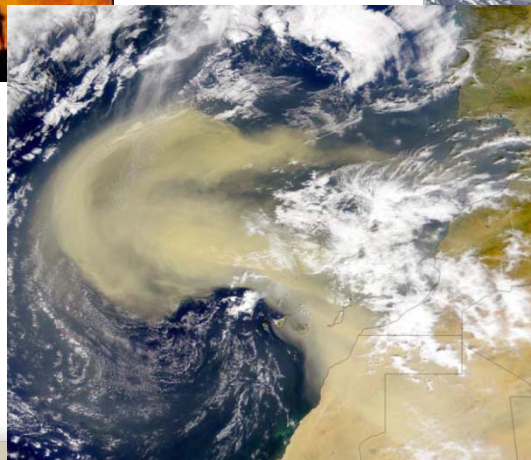


ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ-ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ



- **Φυσικές Πηγές:** ηφαίστεια, πυρκαγιές, θάλασσα, σκόνη με τον άνεμο (π.χ. Αφρική) γύρη των φυτών κτλ.

Ηφαιστειακή τέφρα, θαλάσσια αερολύματα (~10000 Tg/έτος), καπνός, βιοαερολύματα κτλ.



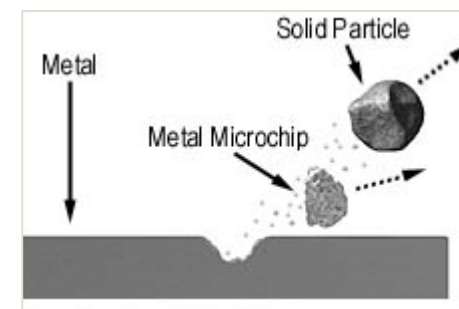


■ Ανθρωπογενείς Πηγές

- Διεργασίες καύσης (π.χ. αιθάλη)
- Διεργασίες διαχείρισης υλικών (βιομηχανικές & μεταλλευτικές δραστηριότητες: Θραύση ή τριβή ορυκτών φόρτωση κτλ.)
- Μεταφορές, γεωργία
- Δευτερογενή σωματίδια (από αντιδράσεις μετατροπής αερίων στην ατμόσφαιρα)

Περιλαμβάνουν διάφορες τοξικές ενώσεις: VOC, Pb, διοξίνες κτλ.

Θειικά, ανθρακικά (black carbon), οργανικά άνθρακα, σκόνες κ.α.



■ Συνεργία αερολυμάτων από φυσικές και από ανθρωπογενείς πηγές:

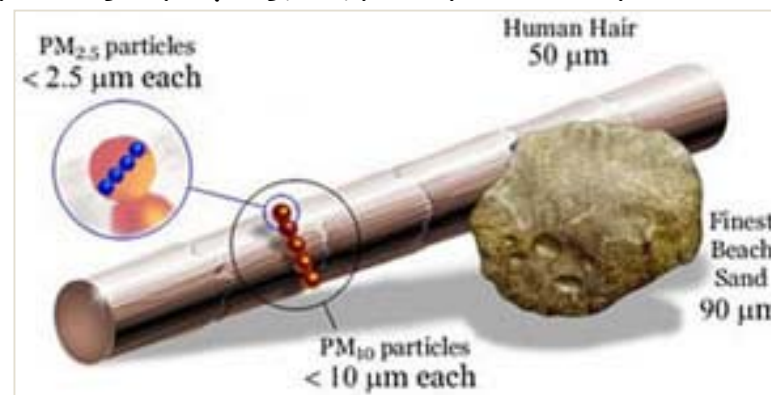
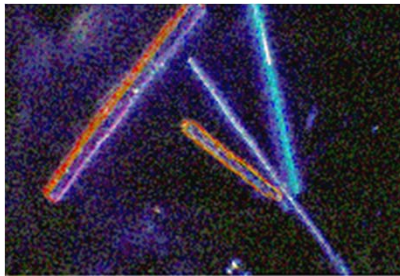
- αερολύματα καπνού και $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ επιδρούν στην ορατότητα
- απορρόφηση τοξικών ουσιών από στερεά που αναπνέουν οι άνθρωποι

Χαρακτηριστικά σωματιδίων: μέγεθος



- Ένας σημαντικός παράγοντας στο χαρακτηρισμό των αιωρούμενων σωματιδίων είναι το **σχήμα** και το **μέγεθος** τους (διάμετρος). Το σχήμα ορισμένων διαφέρει πολύ από το σχήμα της σφαίρας, π.χ. σωματίδια αμιάντου.

Αμιάντος



Αεροδυναμική διάμετρος: η διάμετρος σφαίρας με $\rho=1 \text{ g/mL}$, η οποία καθιζάνει με τον ίδιο ρυθμό με το υπό εξέταση σωματίδιο σε ακίνητο αέριο (προκύπτει από αεροδυναμικούς ταξινομητές: προσκρουστήρες με διαδοχικές επιφάνειες)

Διάμετρος Stokes: η διάμετρος σφαίρας που έχει ίδια πυκνότητα και ίδιο ρυθμό καθίζησης με το υπό εξέταση σωματίδιο

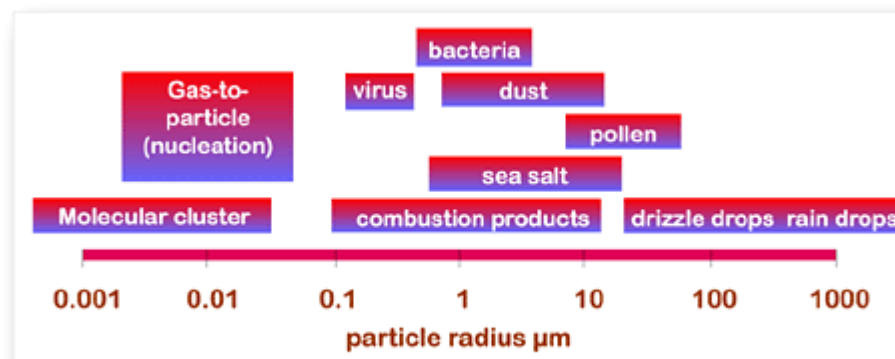
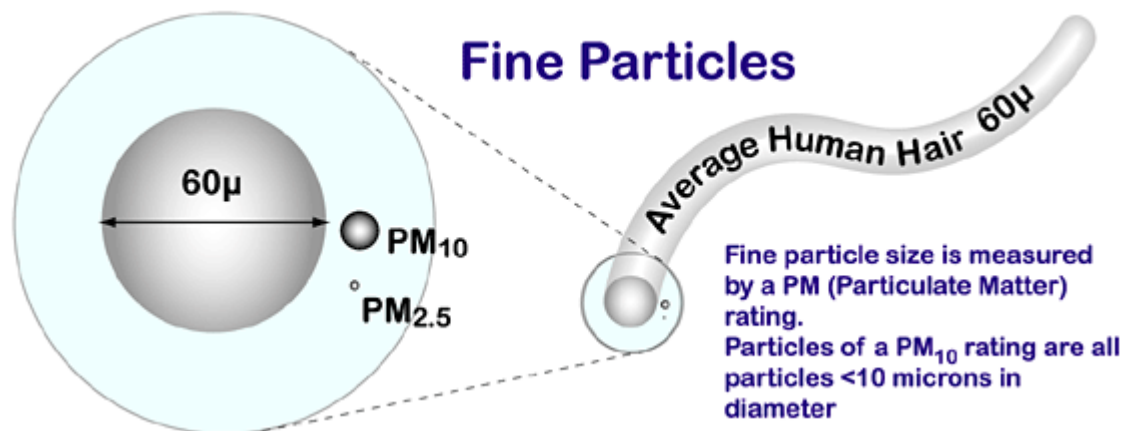
Διάμετρος ισοδύναμου όγκου (ισοδύναμη διάμετρος):

$$d_v = \left(\frac{6V}{\pi} \right)^{1/3}$$

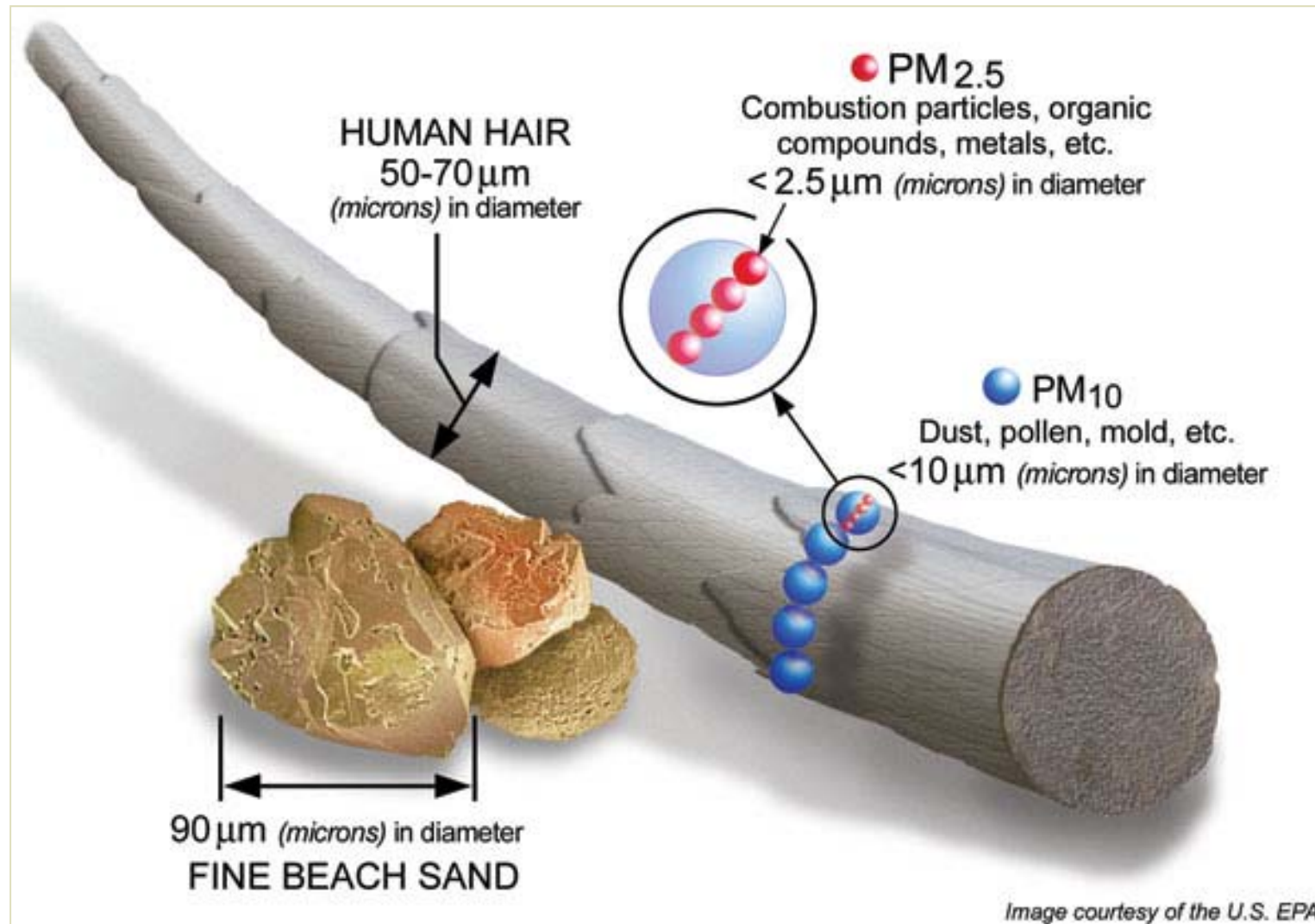


Χαρακτηριστικά σωματιδίων - Μέγεθος

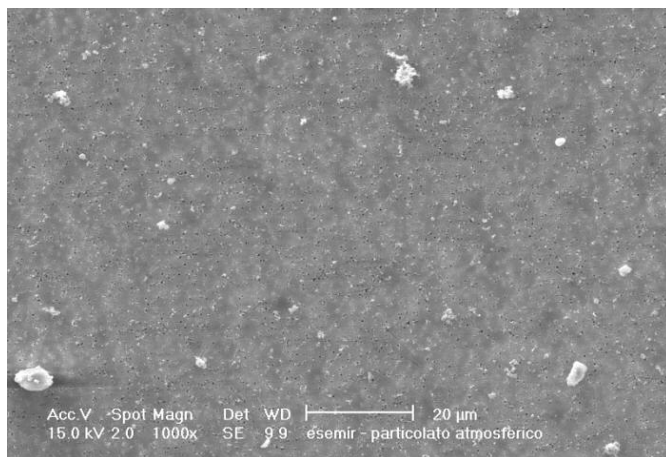
Χαλίκια:	>2000 μm
Άμμος:	20-2000 μm
Τρίχα ανθρώπου:	50-70 μm
Καπνός:	0,01-1 μm



Ορισμοί PM10, PM2.5

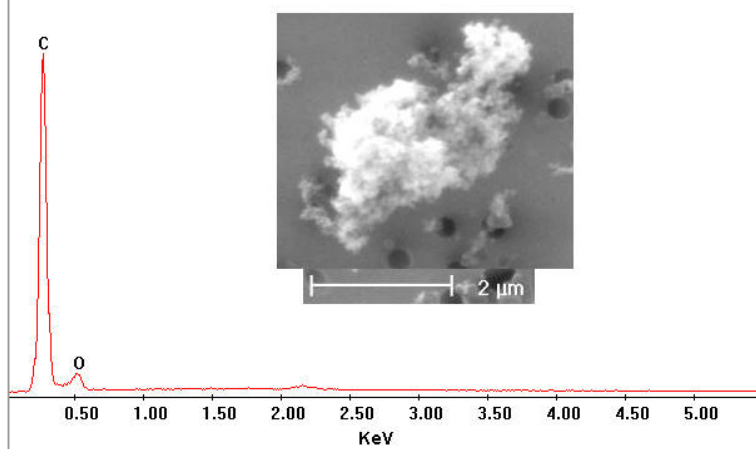


Χαρακτηριστικά σωματιδίων: μέγεθος

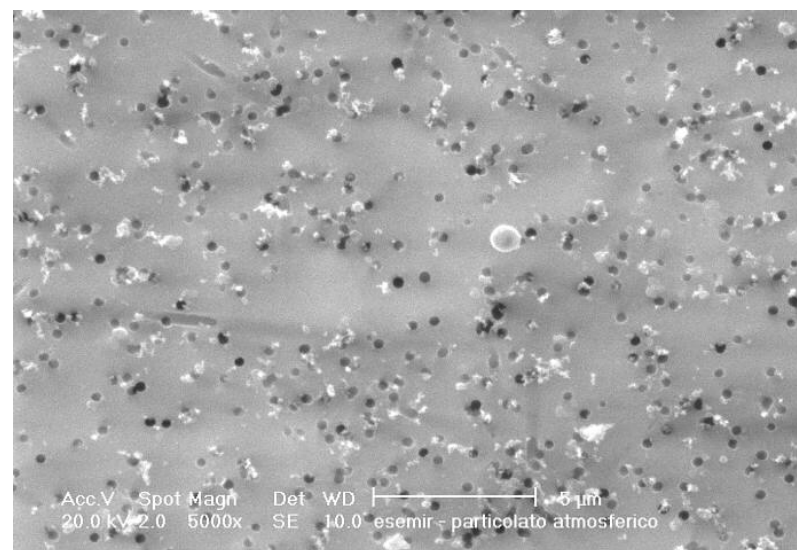


- Ποικιλία μεγεθών και σχημάτων
- Διαφορετική σύσταση

ESEMIR S.r.l. - microanalisi EDS su particella di particolato atmosferico

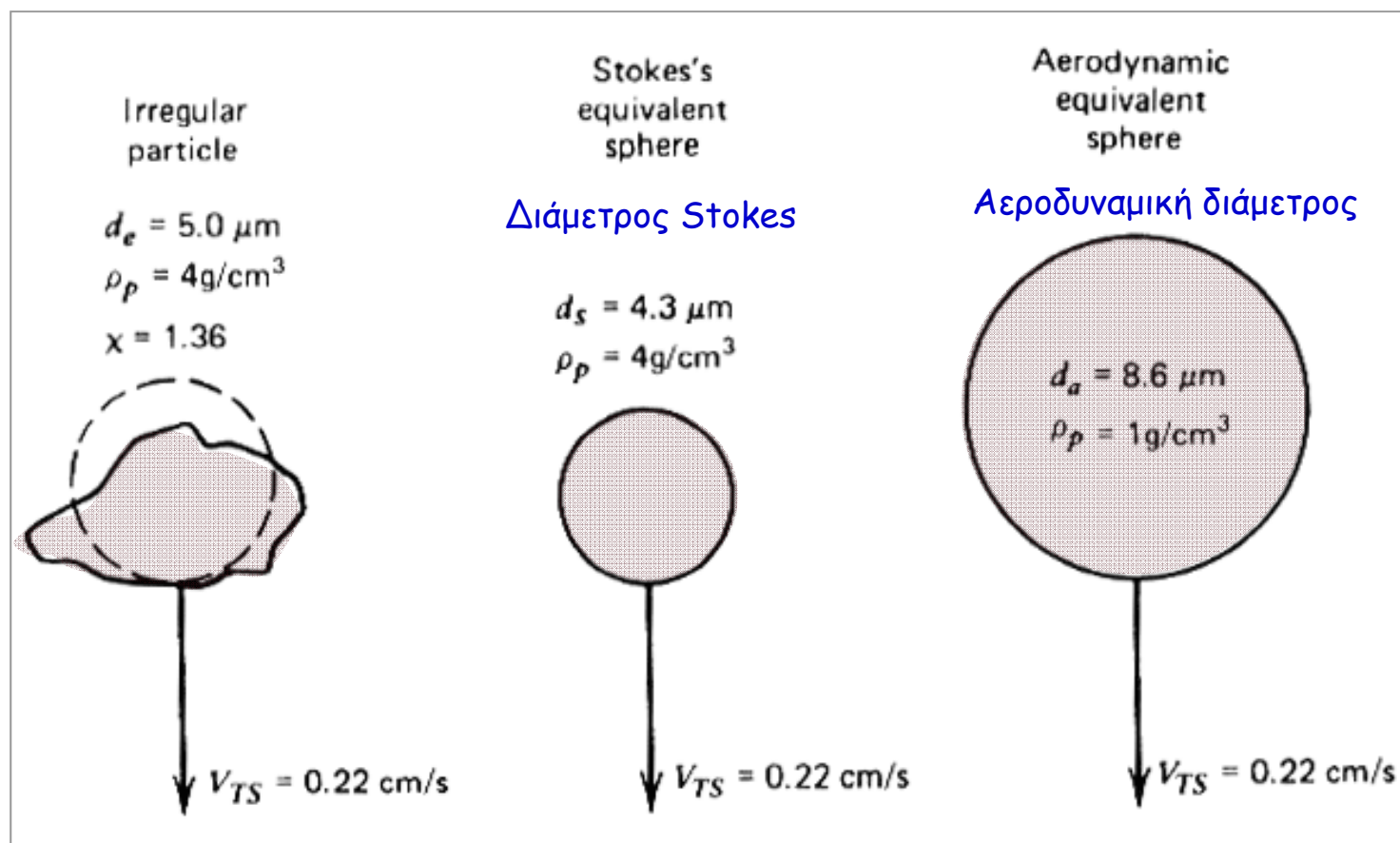


Ανάλυση συγκεκριμένου σωματιδίου





Χαρακτηριστικά σωματιδίων - Μέγεθος

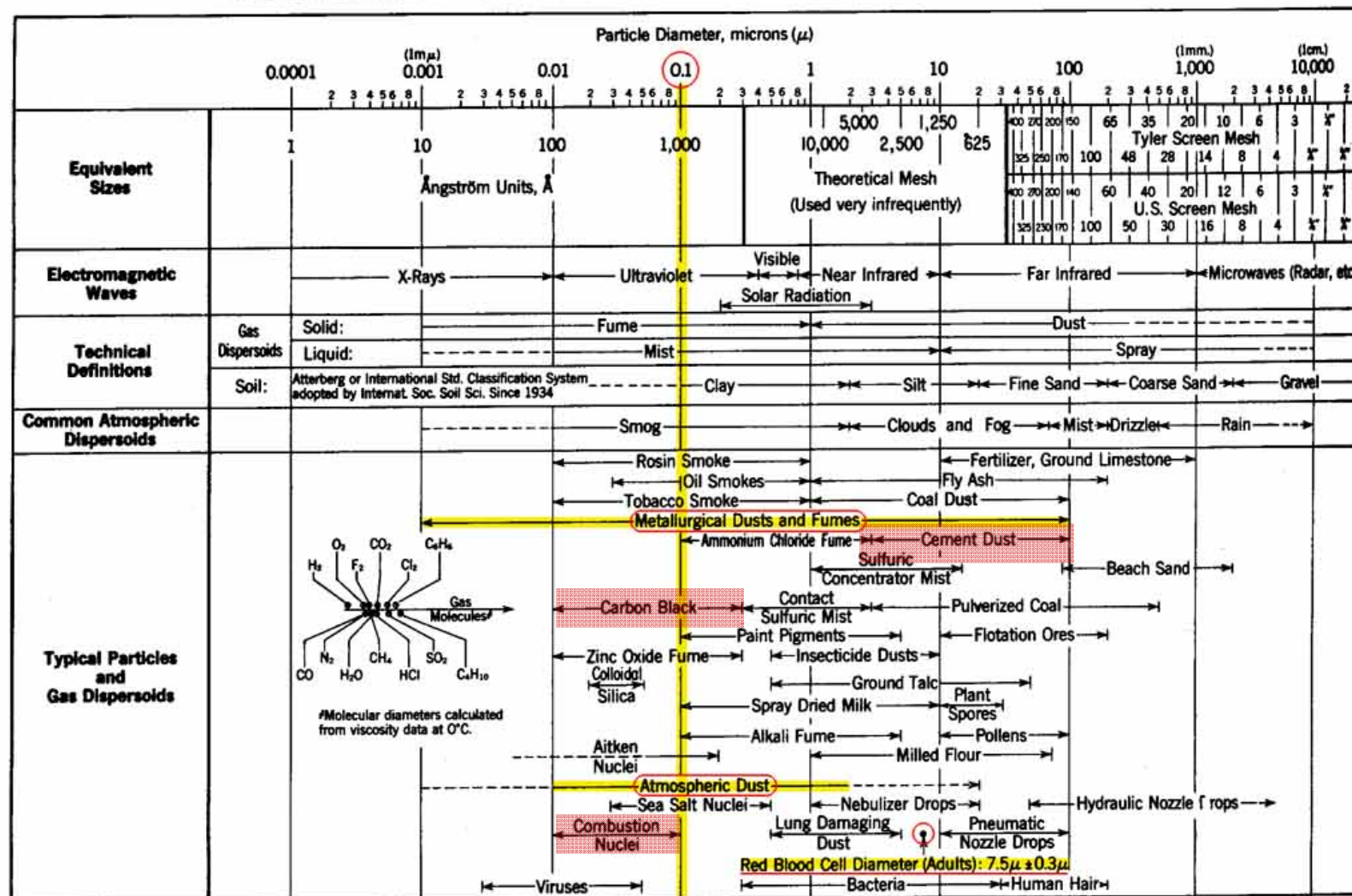


Ένα ακανόνιστο σωματίδιο και ισοδύναμες σφαίρες.

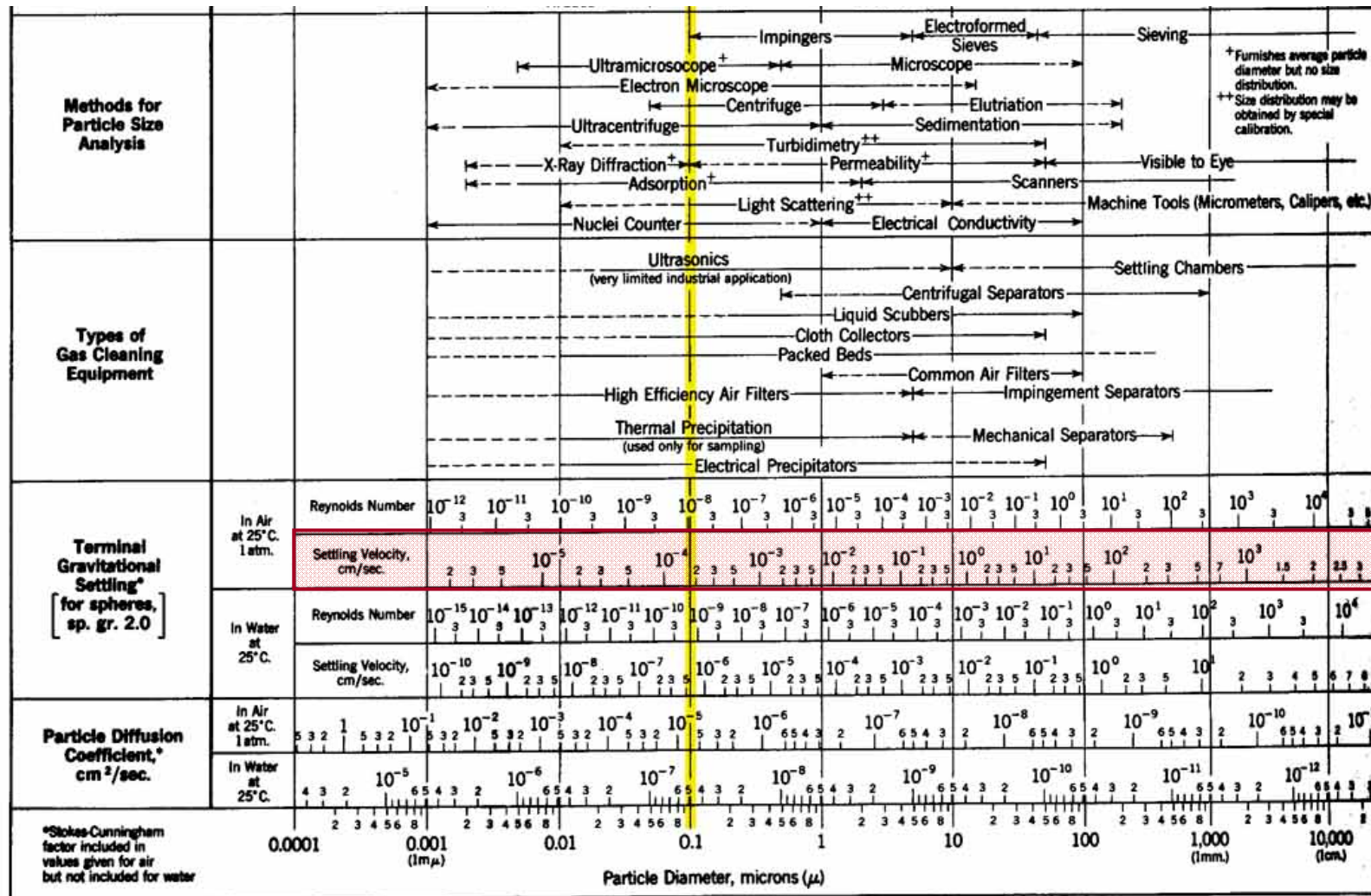
Χαρακτηριστικά σωματιδίων



CHARACTERISTICS OF PARTICLES AND PARTICLE DISPERSOIDS



Χαρακτηριστικά σωματιδίων



C. E. Lapple, Stanford Research
Institute Journal, Vol. 5, p.95
(Third Quarter, 1961)

F-270



Χαρακτηριστικά σωματιδίων (συν.)

Πώς εκτιμούμε το μέγεθος των σωματιδίων;

Μικροσκοπία, ταχύτητα καθίζησης, σκέδαση φωτός κτλ.

Γιατί να νοιαστούμε για το μέγεθος των σωματιδίων;

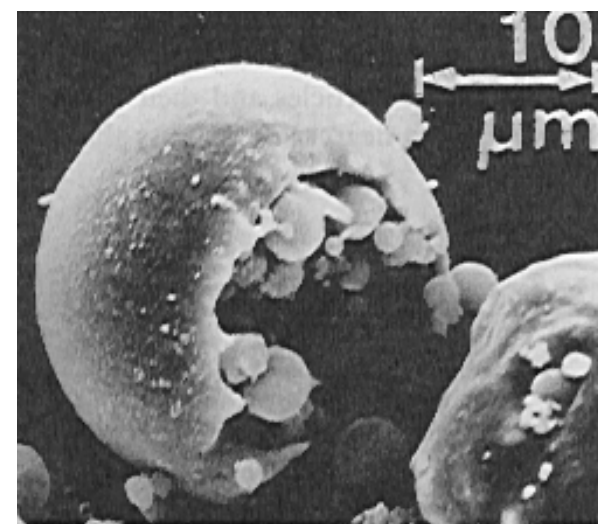
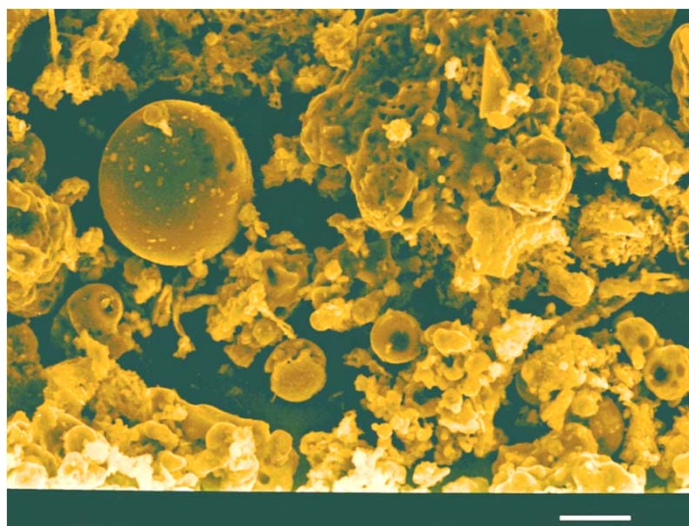
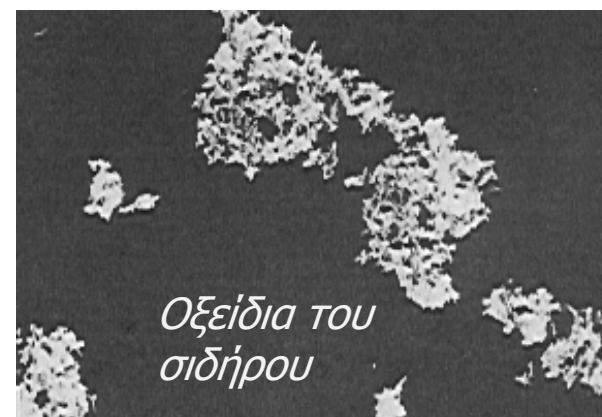
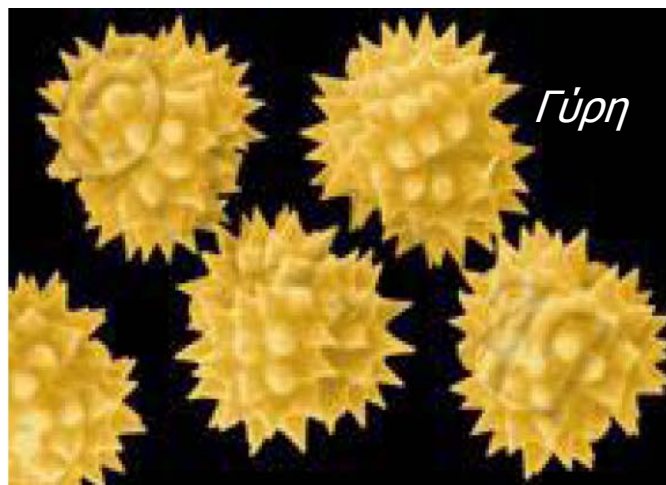
Υγεία, ορατότητα, περιβάλλον, σχεδιασμός αντιρρυπαντικής τεχνολογίας

Άλλα χαρακτηριστικά

- Πυκνότητα
- Χημική σύσταση (ικανότητα διάβρωσης, τοξικότητα, αντιδραστικότητα)
- Φάση (υγρό, στερεό)
- Κατανομή μεγέθους (αριθμός, μάζα, επιφάνεια, όγκος)



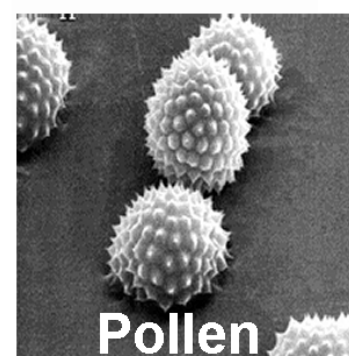
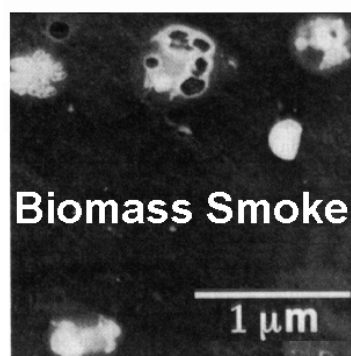
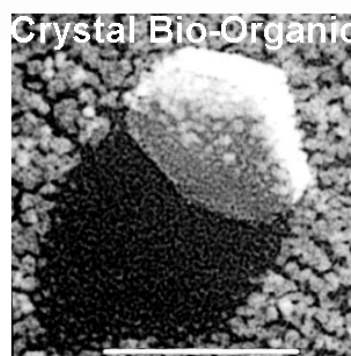
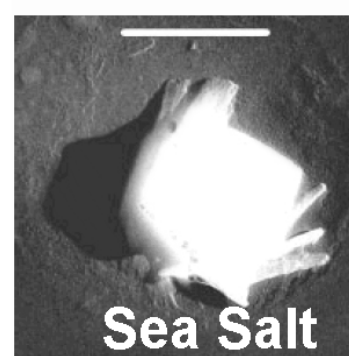
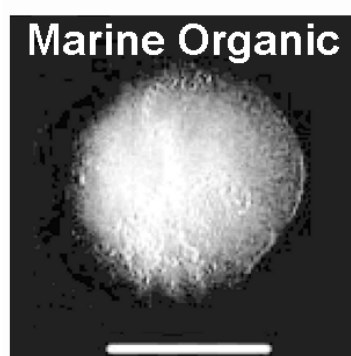
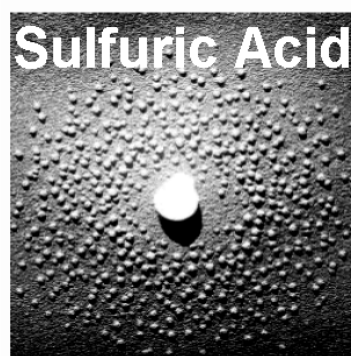
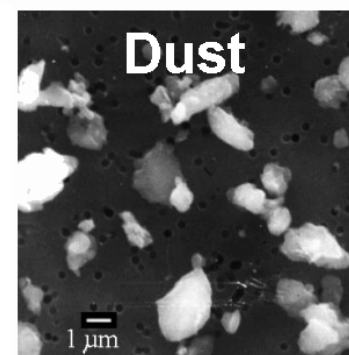
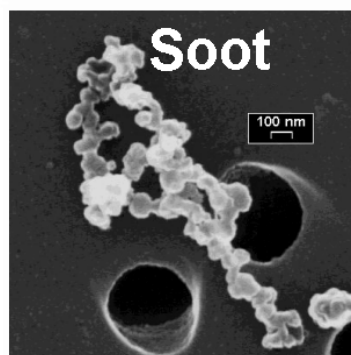
Χαρακτηριστικά σωματιδίων: Σχήμα



Σωματίδια ιπτάμενης τέφρας



Χαρακτηριστικά σωματιδίων: Σχήμα





Αιωρούμενα σωματίδια

Ταξινόμηση σε σχέση με την προέλευσή τους

PM < 1 μm: λεπτομερή σωματίδια (fine), μεγάλος χρόνος παραμονής στην ατμόσφαιρα

- πρωτογενή από διεργασίες καύσης (π.χ. σωματίδια αιθάλης, αλλά και μεταλλικά στοιχεία)
- δευτερογενή, κυρίως από συμπύκνωση
- στις πόλεις το μεγαλύτερο ποσοστό περιέχει άνθρακα

PM > 2,5 μm: χονδροειδή σωματίδια (coarse)

- κυρίως πρωτογενή από μηχανικές ή άλλες διεργασίες (σκόνη από το φλοιό της γης, θαλάσσια αερολύματα κτλ.),
- ανθρωπογενή ή από φυσικά αίτια

Αιωρούμενα σωματίδια

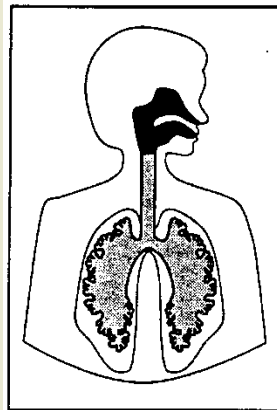


Ταξινόμηση σε σχέση με την συμπεριφορά στο αναπνευστικό σύστημα

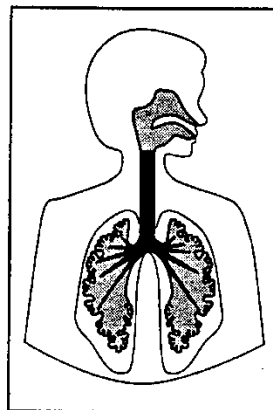
$PM_{10} < 100 \mu m$: εισπνεύσιμα

$PM_{10} < 10 \mu m$: Θωρακικό κλάσμα (διασχίζουν το λάρυγγα και τους πνεύμονες)

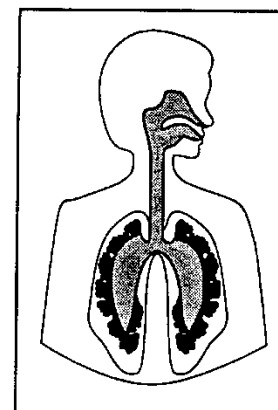
$PM_{10} < 4 \mu m$: αναπνεύσιμα, αυτά που φτάνουν στην περιοχή που γίνεται η ανταλλαγή των αερίων



$d_p > 10 \mu m$

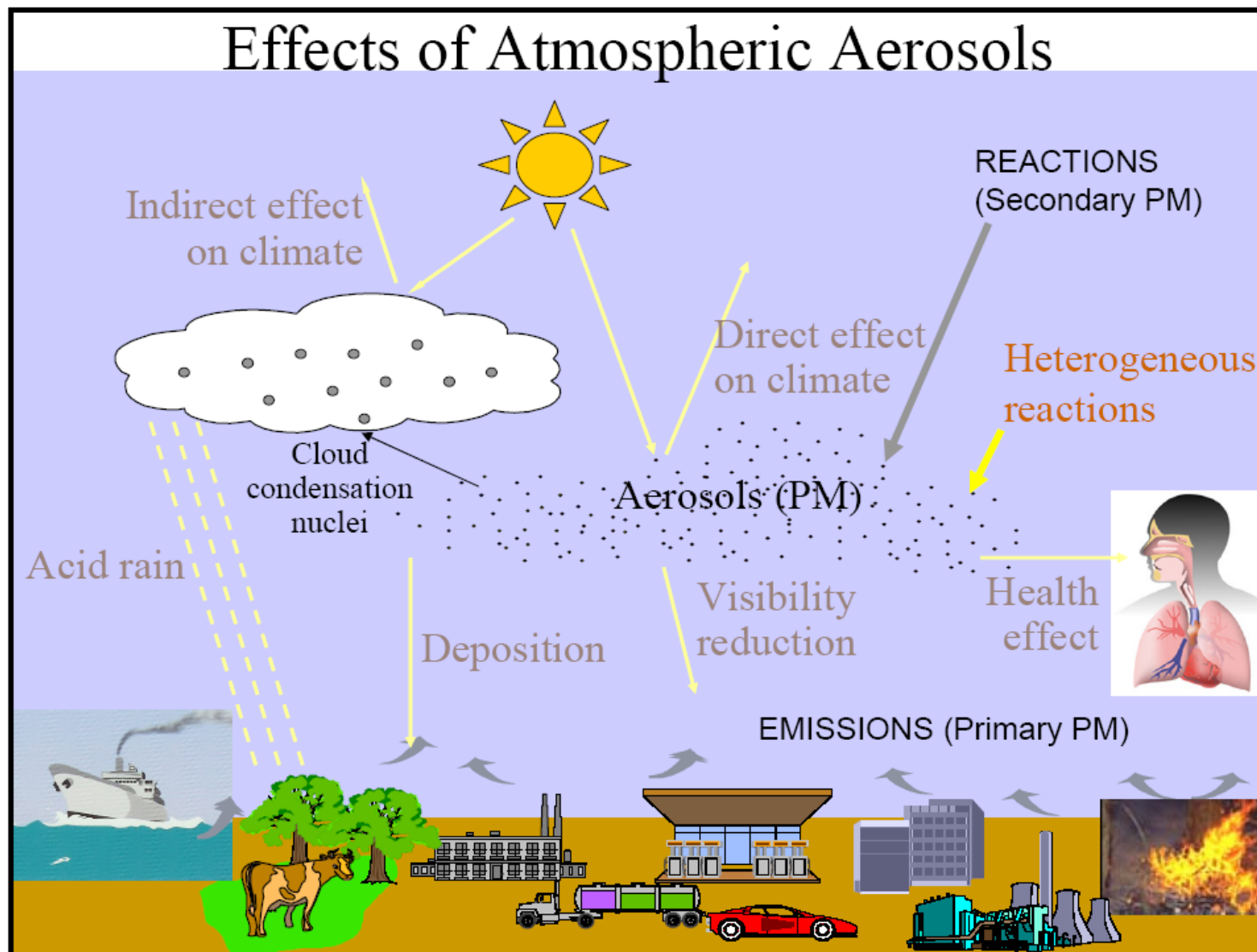


$1 < d_p < 10 \mu m$



$d_p < 1 \mu m$

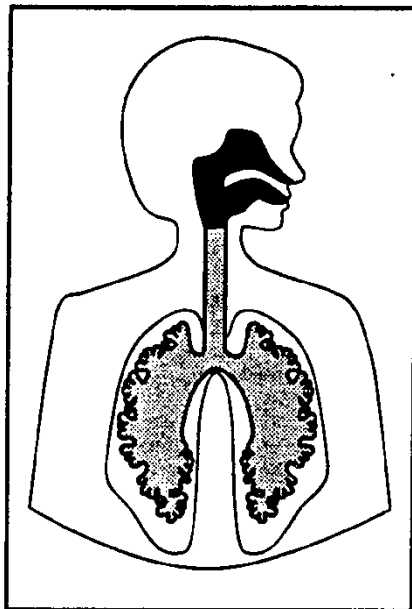
Επιπτώσεις των Ατμοσφαιρικών Αερολυμάτων



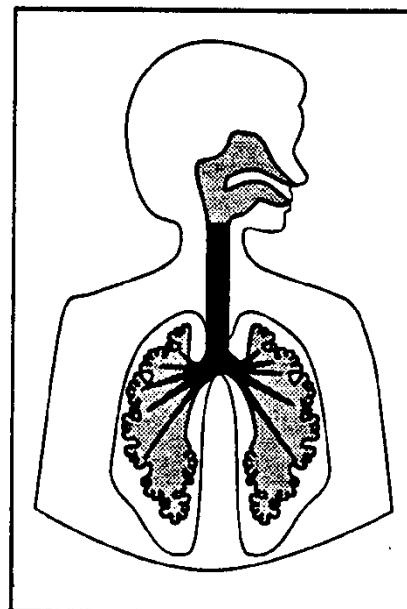
Επιπτώσεις των Ατμοσφαιρικών Αερολυμάτων



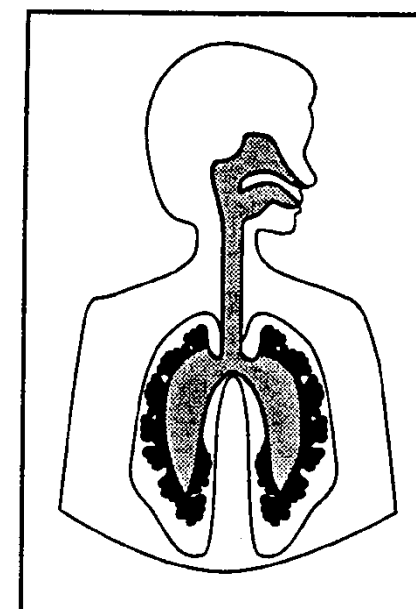
Ανθρώπινη υγεία: απόθεση στο αναπνευστικό μας σύστημα



$$d_p > 10 \mu m$$



$$1 < d_p < 10 \mu m$$



$$d_p < 1 \mu m$$

Βήχας, άσθμα, συμπτώματα του κατώτερου αναπνευστικού, χρόνια βρογχίτιδα, θνησιμότητα



Επιπτώσεις των Ατμοσφαιρικών Αερολυμάτων

Ανθρώπινη υγεία: απόθεση στο αναπνευστικό μας σύστημα

Αμίαντος: αμιαντώσεις (φλεγμονή του πνεύμονα που καταλήγει σε αναπνευστική ανεπάρκεια) και μεσοθηλιώματα (μορφή καρκίνου του πνεύμονα).

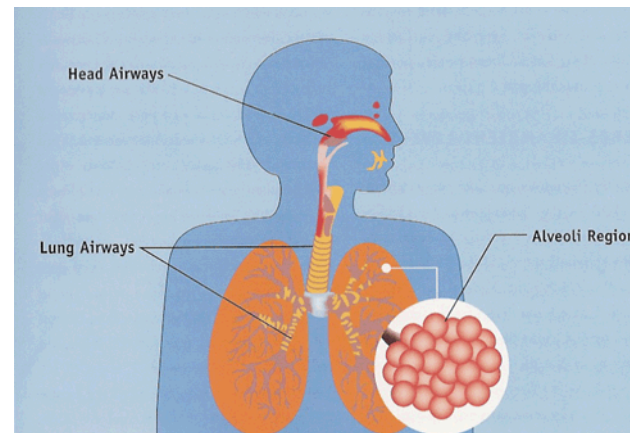


Figure 2: Human respiratory system.



Πνευμόνια πειραματόζων που εκτέθηκαν σε εκπομπές κινητήρα ντίζελ και σε καθαρό αέρα



Επιπτώσεις των Ατμοσφαιρικών Αερολυμάτων

Μείωση της ορατότητας

$PM_{2.5} = 45 \mu g m^{-3}$

July 2, 2001

Pittsburgh

$PM_{2.5} = 4 \mu g m^{-3}$

July 18, 2001



Pictures taken from a same location at same time of day, on two different days

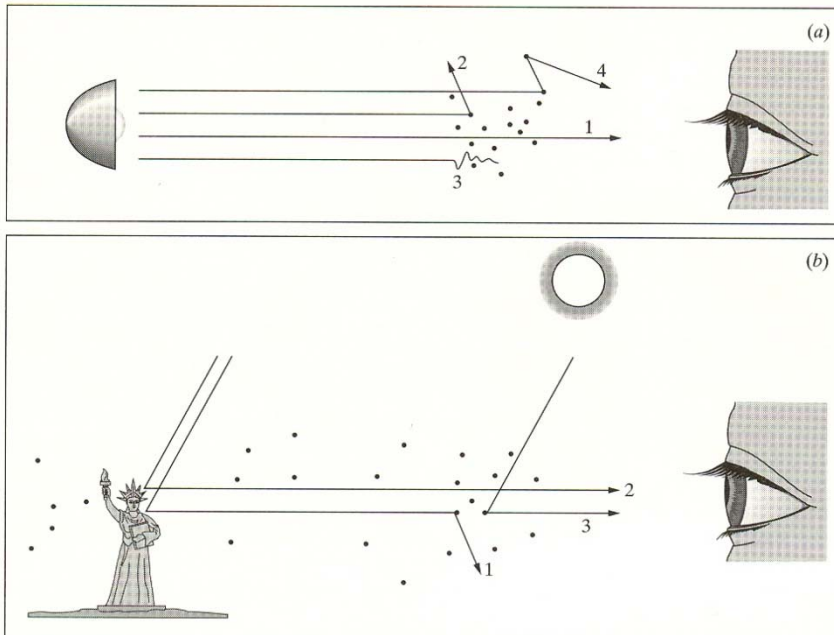


- Example: Chicago in the summer of 2000.
 - Left – a clear day: $PM_{2.5} < 5 \mu g/m^3$
 - Right – a hazy day: $PM_{2.5} \sim 35 \mu g/m^3$



Επιπτώσεις των Ατμοσφαιρικών Αερολυμάτων

Μείωση της ορατότητας



Φαινομενική αντίθεση σε απόσταση d

$$C = C_0 e^{-\sigma d}$$

C_0 = Πραγματική αντίθεση σε μηδενική απόσταση

σ = συντελεστής απόσβεσης (συντ. σκέδασης [σ_s] + συντ. απορρόφησης [σ_a])

Για «ομίχλη»: $\sigma_s \approx \sigma_a$

Αποτελεσματικότεροι σκεδαστές: σωμα. 0,1-1 μm

$\sigma_s = a + bC_p$ (a, b σταθερές)

1: φωτόνια κατευθείαν στο μάτι

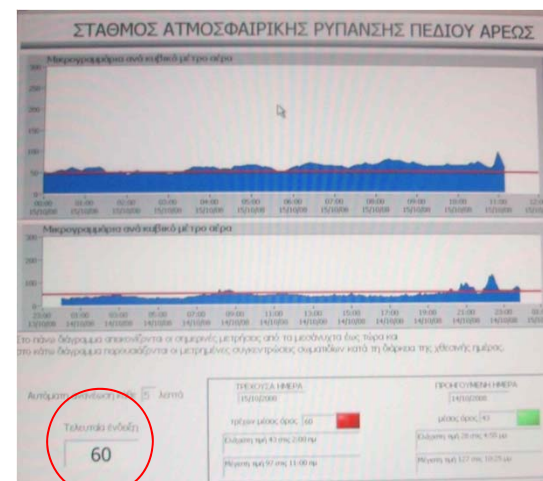
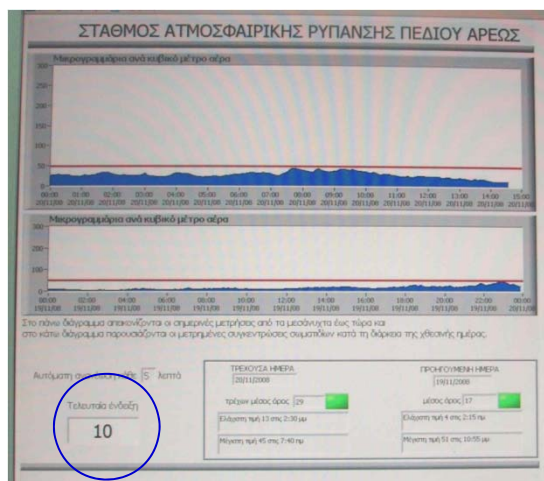
2: φωτόνια σκεδάζονται

3: απορρόφηση από σωματίδια

4: σκέδαση από περισσότερα του ενός σωματίδια



Επίδραση των PM₁₀ στην ορατότητα



Βόλος, Φθινόπωρο 2008





Επιπτώσεις των Ατμοσφαιρικών Αερολυμάτων



- Τα σωματίδια μπορούν να μεταφερθούν από τον άνεμο σε μεγάλες αποστάσεις (1000 km) και να αποτεθούν σε ξηρά και στο νερό. Οι επιπτώσεις:
 - όξινες λίμνες και ρυάκια
 - αλλαγή στο ισοζύγιο θρεπτικών ουσιών ποταμών και παράκτιων νερών
 - απομάκρυνση θρεπτικών από το χώμα
 - καταστροφή ευαίσθητων δασικών συστημάτων και καλλιεργειών

Αισθητική επίδραση



- Η αιθάλη, τυπικό ΡΜ, «λερώνει» και συμμετέχει στην διάβρωση της πέτρας σε πολιτιστικά μνημεία και κτίρια.





Χαρακτηρισμός σωματιδίων

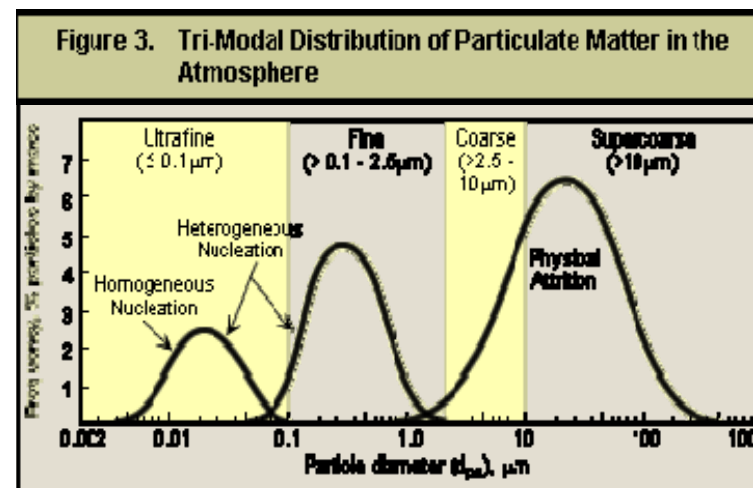
Με βάση το σχηματισμό τους

- **Αερολύματα συμπύκνωσης** = σχηματίζονται από τη συμπύκνωση ατμών ή από αντιδράσεις αερίων
- **Αερολύματα διασποράς** = σχηματίζονται από θραύση στερεών, εκνέφωση υγρών ή διασπορά της σκόνης

Σωματίδια με μέγεθος 0,001 to 10 μm
αιωρούνται στον αέρα

Με βάση το μέγεθος

- Σωματίδια Aitken ($d < 0,1 \mu\text{m}$) ή εξαιρετικά λεπτομερή
- Μεγάλα σωματίδια ή χονδροειδή (εισπνεύσιμα)
 $d > 2,5 \mu\text{m}$ (μικρότερη επίδραση γιατί για $d > 10 \mu\text{m}$ κατακάθονται)
- Λεπτά σωματίδια-fine particles (αναπνεύσιμα) $d < 2,5 \mu\text{m}$





Χαρακτηρισμός σωματιδίων με βάση τη φυσική κατάσταση

1) Στερεά αερολύματα

- **Σκόνη (dust):** στερεά σωματίδια από μηχανικές διεργασίες (θραύση, λείανση κτλ.) που διασπείρονται από τα αέρια ρεύματα ($d_p > 1 \mu\text{m}$)
- **«Ατμός» ή «καπνοί» (fume):** στερεά προϊόντα συμπύκνωσης στην αέρια φάση, συχνά ύστερα από εξάτμιση και χημική αντίδραση (π.χ. οξείδωση). Συχνά τα σωματίδια αυτά είναι επιβλαβή. ($d_p < 1 \mu\text{m}$)
- **Καπνός (smoke):** μικρά σωματίδια που σχηματίστηκαν από τη διεργασία (ατελούς) καύσης, που αποτελούνται κυρίως από άνθρακα. ($d_p \geq 0,01 \mu\text{m}$)
- **Αιθάλη (soot):** συσσωματώματα από σωματίδια από άνθρακα, αποτέλεσμα ατελούς καύσης
- **Ιπτάμενη τέφρα (Fly ash):** λεπτά ανόργανα σωματίδια που παρασύρονται από τα καυσαέρια (μπορούν να περιέχουν άκαυστο καύσιμο)



Χαρακτηρισμός σωματιδίων με βάση τη φυσική κατάσταση

2) Υγρά αερολύματα

- **Ομίχλη (Fog):** υψηλή συγκέντρωση λεπτών σταγονιδίων (500 - 600 σταγονίδια/cm³). Βασικά διασπορά νερού ή πάγου κοντά στο έδαφος.
- **Εκνέφωμα (Mist):** διασπορά λεπτών σταγονιδίων με διάμετρο ικανά να αιωρούνται ή να καθιζάνουν στον αέρα (50 - 100 σταγονίδια/cm³). Είναι περισσότερο διαυγή από την ομίχλη. $d_p > 1 \mu m$

3) Στερεά - υγρά αερολύματα:

- **Αχλύς -θόλωμα (Haze):** δηλώνει ελαττωμένη ορατότητα από την παρουσία σωματιδίων (λεπτή σκόνη + ομίχλη) $d_p < 1 \mu m$
- **Αιθαλομίχλη (Smog, smoke + fog),** δηλωτικό της εκτεταμένης ρύπανσης
 - σκόνη άνθρακα + SO₂ + ομίχλη (αιθαλομίχλη τύπου Λονδίνου)
 - HC + NO_x (φωτοχημικό νέφος- Λος Άντζελες)



Χαρακτηριστικά σωματιδίων

Τα σωματίδια:

- Έχουν κατανομή μεγέθους
- Κατακάθονται (Νόμος Stokes: $F_d = 3\pi d_p \mu V$)
- Συσσωματώνονται (συμπύκνωση νερού-βροχή)
- Απομακρύνονται με τη βροχή
- Επιδρούν στην ορατότητα (ελάττωση) λόγω σκέδασης και απορρόφησης του φωτός

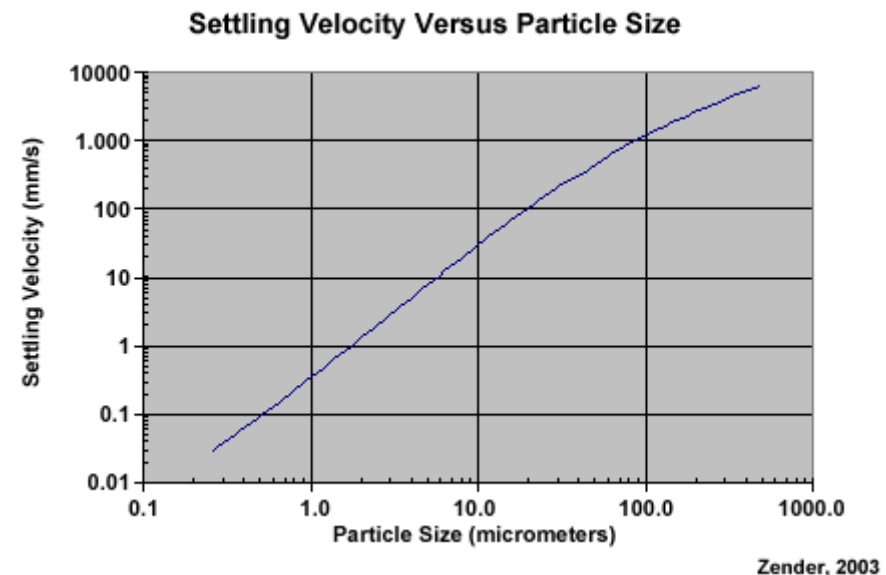
$$V = g d_p^2 \frac{(\rho_p - \rho_{fluid})}{18\mu}$$

διάμετρος
σωματιδίου

ιξώδες ρευστού

Ταχύτητα καθίζησης

- 0,1 μm : $V_s = 4 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$
- 1 μm : $V_s = 4 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$
- 10 μm : $V_s = 0,3 \text{ cm/s}$
- 100 μm : $V_s = 30 \text{ cm/s}$





Κατανομή Μεγέθους σωματιδίων

- * **Μονοδιασπορά:** όλα τα σωματίδια έχουν το ίδιο μέγεθος (π.χ. βιοαερολύματα γύρης)
- * **Πολυδιασπορά:** σωματίδια με διαφορετικό μέγεθος (στην πράξη)

Τυπικά δεδομένα από μετρήσεις

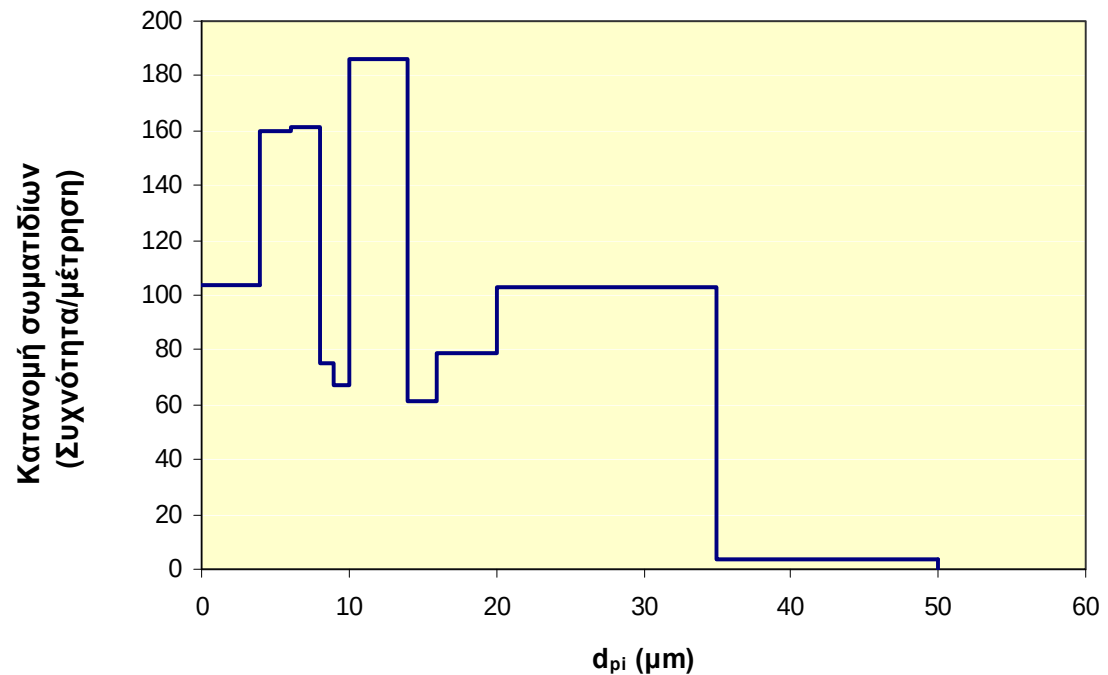
Περιοχή μεγέθους (μm)	Εύρος (μm)	Μέσο μεγεθος (μm)	Μέτρηση (#)	Κλάσμα	Κλάσμα/εύρος (1/ μm)	Ποσοστό (%)	Αθροιστική (%)
0-4	4	2	104	0.104	0.0260	10.4	10.4
4-6	2	6	160	0.160	0.0800	16.0	26.4
6-8	2	7	161	0.161	0.0805	16.1	42.5
8-9	1	8.5	75	0.075	0.0750	7.5	50.0
9-10	1	9.5	67	0.067	0.0670	6.7	56.7
10-14	4	12	186	0.186	0.0465	18.6	75.3
14-16	2	15	61	0.061	0.0305	6.1	81.4
16-20	4	18	79	0.079	0.0198	7.9	89.3
20-35	15	27.5	103	0.103	0.0069	10.3	99.6
35-50	15	42.5	4	0.004	0.0003	0.4	100.0
>50	50	50	0	0.000	0.0000	0.0	100.0
ΣΥΝΟΛΟ			1000	1.000		100.0	

Μπορεί να είναι μάζα;

Συχνότητα (ή αριθμός Σωματιδίων) vs μέγεθος σωματιδίων



Περιοχή μεγέθους (μm)	Μέτρηση (#)
0-4	104
4-6	160
6-8	161
8-9	75
9-10	67
10-14	186
14-16	61
16-20	79
20-35	103
35-50	4
>50	0
ΣΥΝΟΛΟ	1000



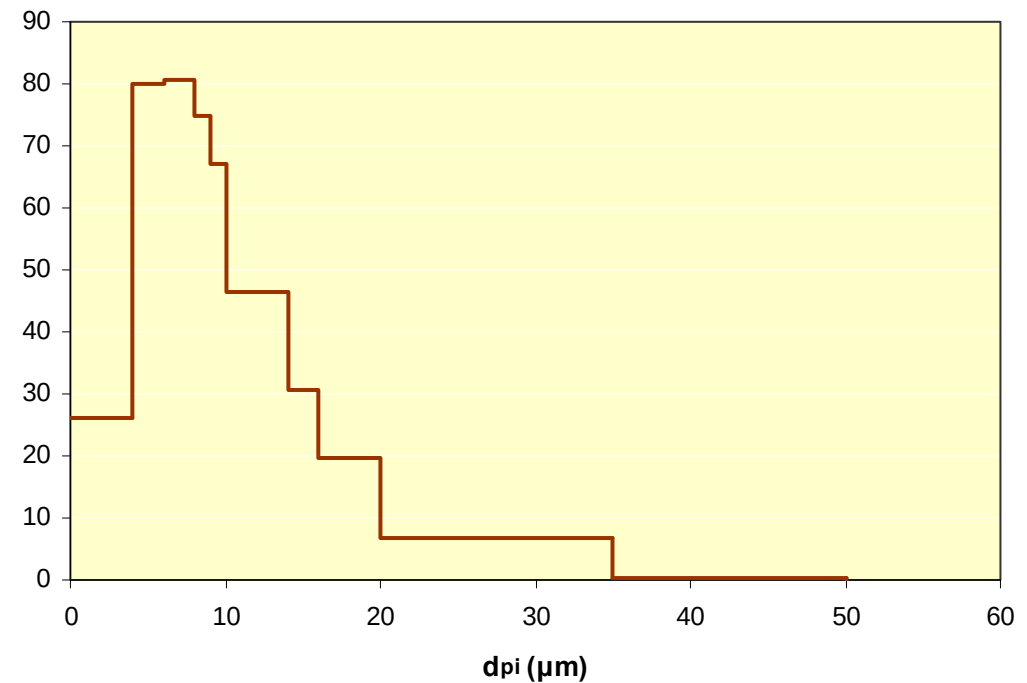
Ε: Ποιο μέγεθος έχει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση;



Συχνότητα/ Δd_p vs. μέγεθος σωματιδίων

Περιοχή μεγέθους (μm)	Αριθμός σωμ. / Δd_{pi}
0-4	26
4-6	80
6-8	80.5
8-9	75
9-10	67
10-14	46.5
14-16	30.5
16-20	19.75
20-35	6.87
35-50	0.27
>50	0

$n_i(d_{pi})$ Κατανομή σωματιδίων
(Συχνότητα/ Δd_{pi})



$$n_i = \frac{(\text{Αριθμ. σωμ.})_i}{\Delta d_{pi}}$$

Ε: Ποια είναι η συνολική επιφάνεια;

$$N = \sum_i (n_i \Delta d_{pi})$$

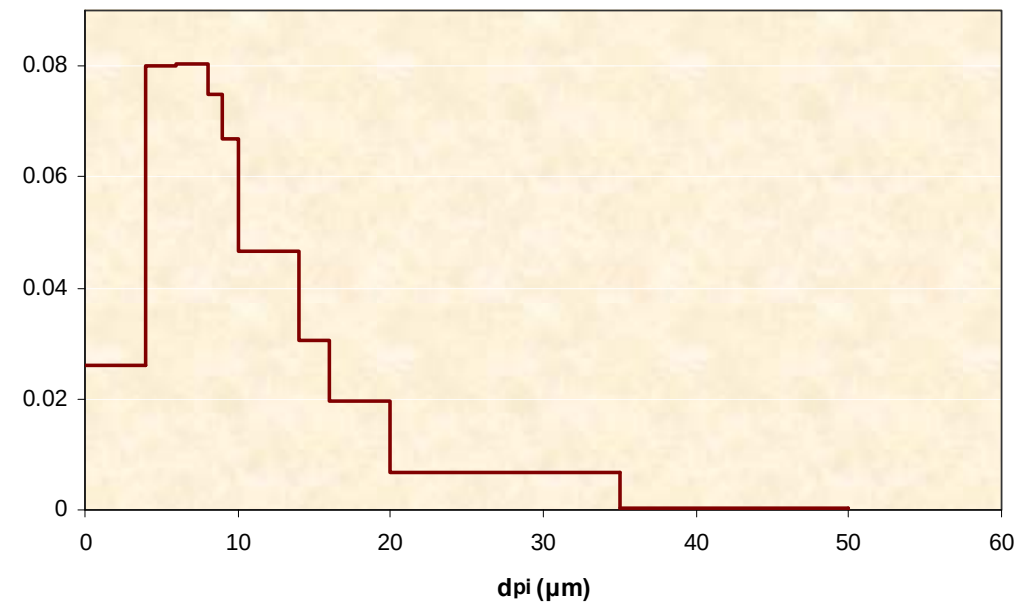


Κλάσμα/ Δd_p vs. μέγεθος σωματιδίων

Σχετική πυκνότητα κατανομής

Περιοχή μεγέθους (μm)	Κλάσμα/εύρος ($1/\mu\text{m}$)
0-4	0.0260
4-6	0.0800
6-8	0.0805
8-9	0.0750
9-10	0.0670
10-14	0.0465
14-16	0.0305
16-20	0.0198
20-35	0.0069
35-50	0.0003
>50	0.0000

$f_i(d_{pi})$ Συνάρτηση πυκνότητας
πιθανότητας
(Κλάσμα/ Δd_{pi})



Ε: Ποια είναι η τιμή της συνολικής επιφάνειας;

$$f_i = \frac{n_i}{N}$$



Αντιπροσωπευτικά μεγέθη

- **Μέση διάμετρος** (mean-αριθμητικός μέσος):

Το άθροισμα των μεγεθών όλων των σωματιδίων διαιρεμένο με τον αριθμό των σωματιδίων.

$$\overline{d_p} = \frac{\sum d_p}{N} = \frac{\sum n_i d_{pi}}{\sum n_i} = \int_0^{\infty} d_p f(d_p) d d_p$$

- **Μεσαία τιμή (median):**

Η διάμετρος του σωματιδίου για την οποία το 50% των σωματιδίων είναι μικρότερα από αυτό και το 50% μεγαλύτερα. Αντιστοιχεί στο αθροιστικό κλάσμα 50%.

- **Συχνότερη τιμή:**

Θέτοντας 0 την παράγωγο της συνάρτησης πιθανότητας και λύνοντας ως προς d_p .



Η νιοστή ρίζα του γινομένου N τιμών

$$D_{pg} = \left(d_{p1}^{n_1} d_{p2}^{n_2} d_{p3}^{n_3} \dots \right)^{1/N} = \left(\prod d_{pi}^{n(d_{pi})} \right)^{1/N}$$

Έκφραση με όρους $\ln(d_p)$

$$\ln d_{pg} = \frac{\sum n_i \cdot \ln d_{pi}}{N}$$

$$d_{pg} = \exp \left[\frac{\sum n_i \cdot \ln d_{pi}}{N} \right]$$

- Χρησιμοποιείται συχνά στα αερολύματα και καλύπτει την περιοχή από 0,001 μέχρι 1000 μm



Άλλες κατανομές

- ♦ Υπάρχουν και άλλες κατανομές εκτός από τον αριθμό, όπως κατανομές της **μάζας**

Παράδειγμα: ένα σύστημα περιέχει σφαιρικά σωματίδια (πυκνότητας 1.91 g/cm^3) ως εξής:

Συγκέντρωση αριθμού:

100 σωμα./cm³ d=1 μm
1 σωμα./cm³ d=10 μm



Συγκέντρωση μάζας:

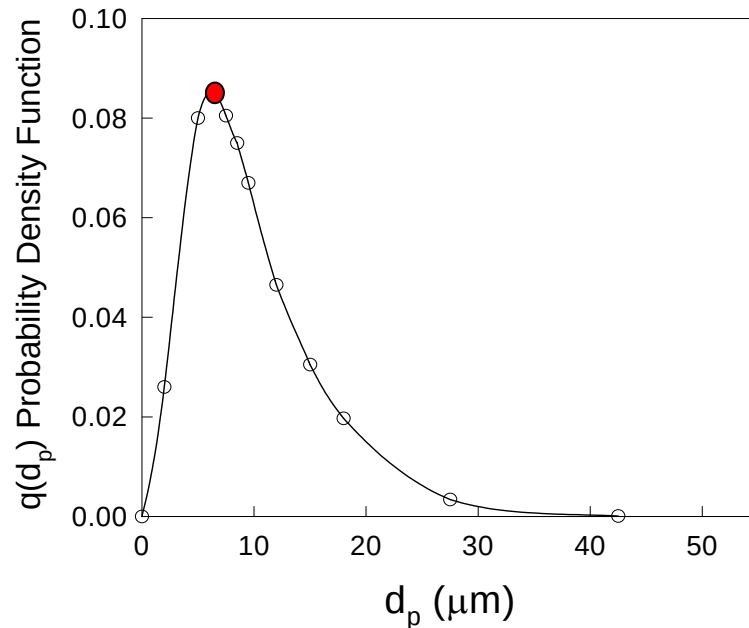
10^{-10} g/cm^3 d=1 μm
 10^{-9} g/cm^3 d=10 μm

Ε: Έχουμε περισσότερα σωματίδια διαμέτρου 1 μm ή 10 μm ; [δηλ. η πλειοψηφία είναι 1 ή 10 μm;]

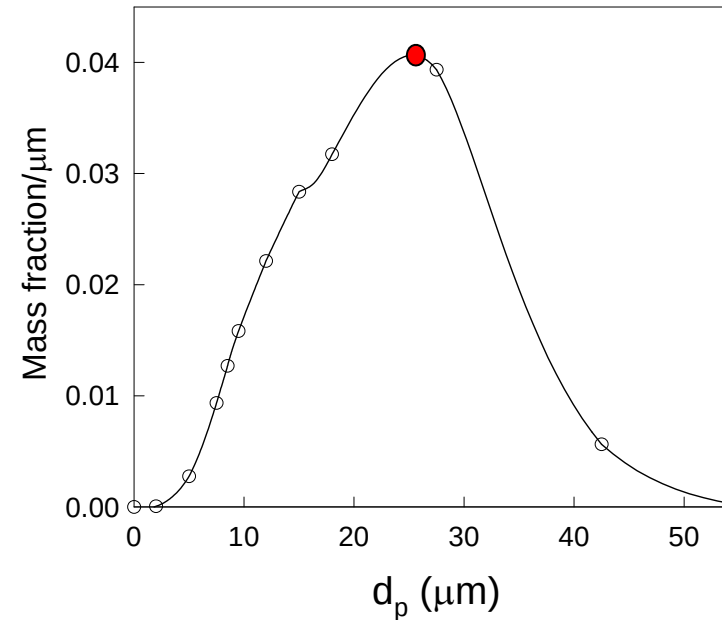
Ε: Πως θα είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας;



Κατανομή αριθμού σωματιδίων



Κατανομή μάζας



Ε: Ποια είναι η συχνότερη τιμή για τις παραπάνω κατανομές;

◆ Μέση διάμετρος αριθμού

$$\overline{d_{pn}} = \frac{\sum n_i d_{pi}}{\sum n_i} = \int_0^{\infty} d_p n(d_p) dd_p$$

◆ Μέση διάμετρος μάζας

$$\overline{d_{pm}} = \frac{\sum m_i d_{pi}}{\sum m_i} = \int_0^{\infty} d_p m(d_p) dd_p$$

Ε: Τι κατανομή θα πρέπει να χρησιμοποιούμε; Μάζα, αριθμό ή άλλη;

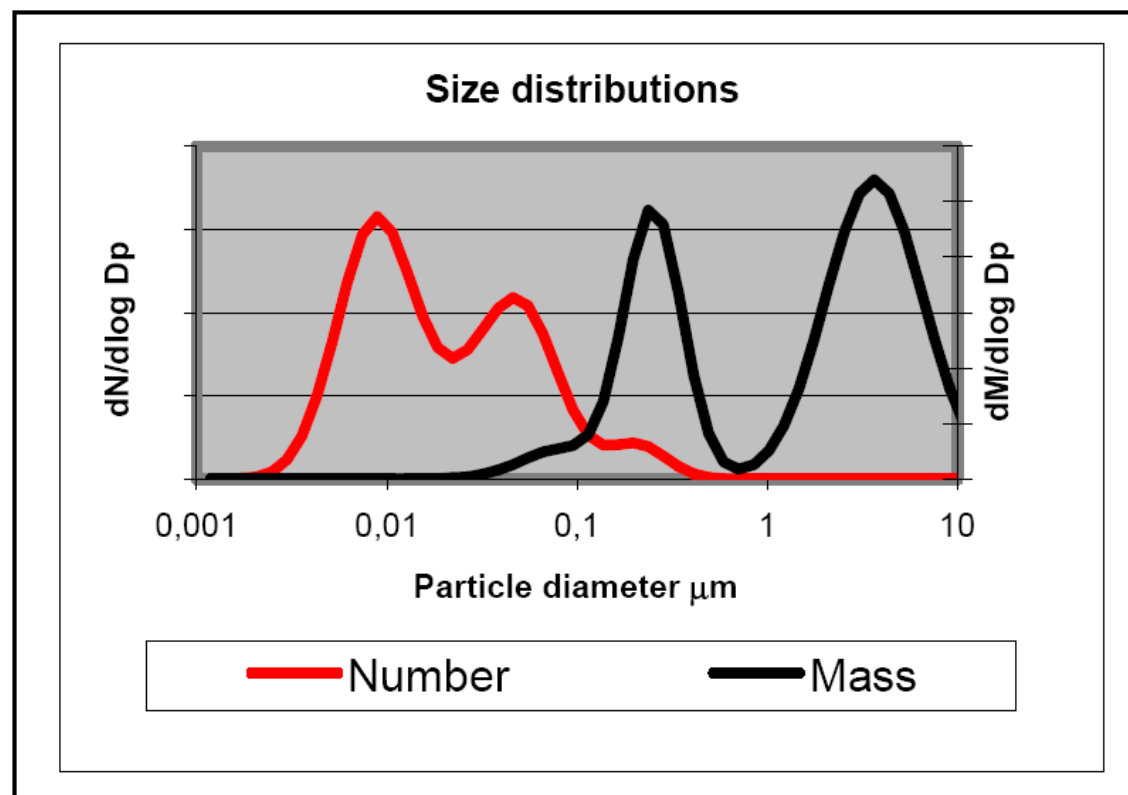
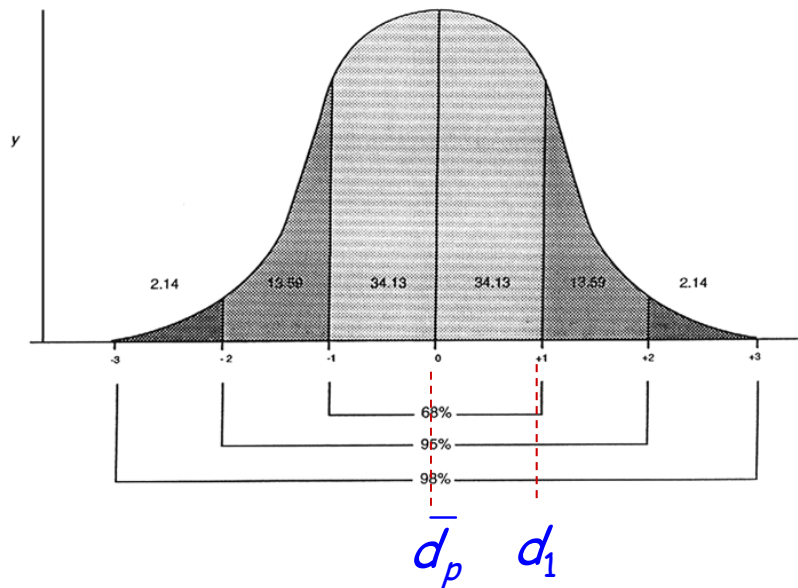


Figure 2.1 Particle number and mass distributions, during nucleation, are shown in a lin-log diagram. The nucleation and Aitken modes are clearly seen in the number distribution, while the accumulation and coarse modes show more in the mass distribution.



Κανονική κατανομή (normal or gaussian distribution)



■ Χρησιμοποιείται ευρύτατα (π.χ. για τη βαθμολόγηση των φοιτητών)

■ Τυπική απόκλιση: $\sigma = d_1 - \bar{d}_p$

■ 68% των σωματιδίων έχουν μέγεθος

$$\bar{d}_p \pm \sigma$$

$$\frac{df(d_p)}{dd_p} = \frac{N}{(2\pi)^{1/2} \sigma} \exp \left[\frac{(d_p - \bar{d}_p)^2}{2\sigma^2} \right]$$

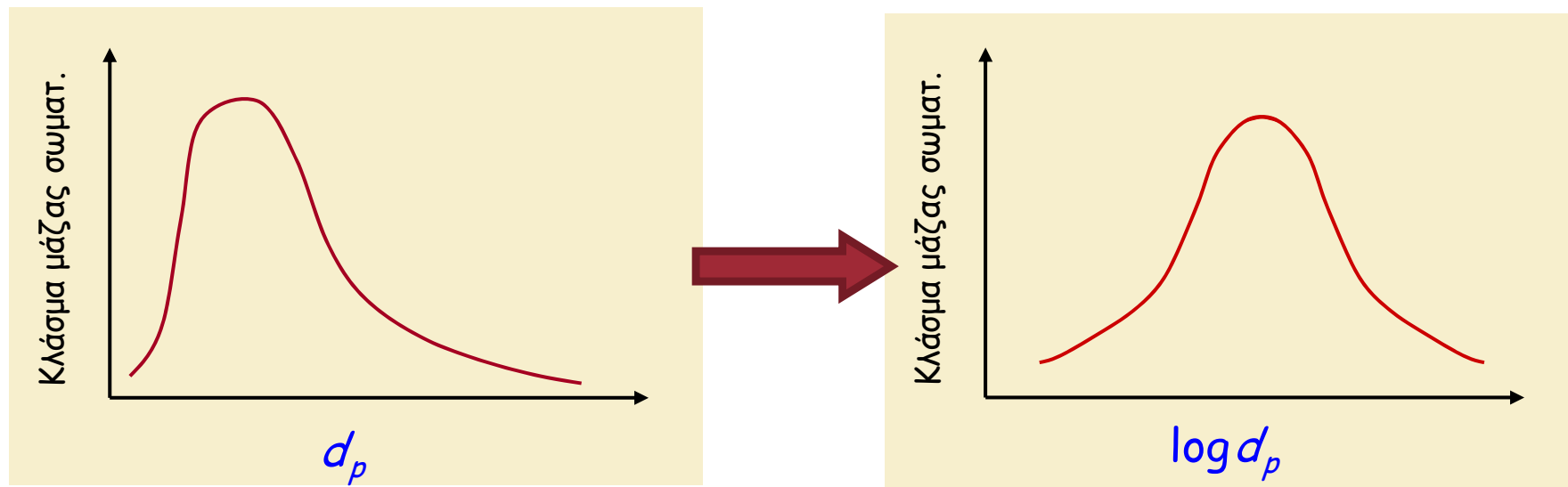
$$\sigma = \left[\frac{\sum n_i (d_p - \bar{d}_p)^2}{N - 1} \right]^{1/2}$$

Τυπική απόκλιση



Λογαριθμική κανονική κατανομή

- Τα περισσότερα αερολύματα παρουσιάζουν μία λοξή κατανομή, μετατοπισμένη στα μικρότερα σωματίδια
- Σε πολλές περιπτώσεις $\Rightarrow$ **λογαριθμική κανονική κατανομή** (log-normal distribution)
- Μια ποσότητα d_p κατανέμεται log-normally, όταν ο λογάριθμός της κατανέμεται normally



- Η εφαρμογή αυτής της κατανομής δεν έχει θεωρητική βάση, αλλά έχει βρεθεί να ταιριάζει σε αρκετά αερολύματα που προέρχονται από την ίδια πηγή.
- Χρήσιμη για μεγάλο εύρος μεγεθών (μεγαλύτερο / μικρότερο μέγεθος > 10)
- Απλά αντικαθιστούμε το d_p με $\log(d_p)$ ή $\ln(d_p)$



Λογαριθμική κανονική κατανομή

- Χαρακτηρίζεται από ένα γεωμετρικό μέσο (μεσαία τιμή, d_{median}) και από μία τυπική γεωμετρική απόκλιση, σ_g .

$$\ln d_{pg} = \frac{\sum n_i \ln d_{pi}}{N}$$

Γεωμετρική μέση διάμετρος

$$d_{pg} = d_{50} = d_{\text{median}}$$

$$\ln \sigma_g = \sqrt{\frac{\sum n_i (\ln d_{pi} - \ln d_{pg})^2}{N - 1}}$$

Γεωμετρική τυπική απόκλιση

Η πιθανότητα ένα σωματίδιο να βρίσκεται στην περιοχή από $\ln(d_p)$ μέχρι $[\ln(d_p) + d\ln(d_p)]$

$$\frac{df}{d\ln d_p} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln \sigma_g} \exp \left[-\frac{(\ln d_p - \ln d_{pg})^2}{2(\ln \sigma_g)^2} \right]$$

Χαρακτηριστικά λογαριθμικής κανονικής κατανομής



$$\ln d_{84,1\%} = \ln d_{50\%} + \ln \sigma_g$$

$$\ln d_{15,9\%} = \ln d_{50\%} - \ln \sigma_g$$

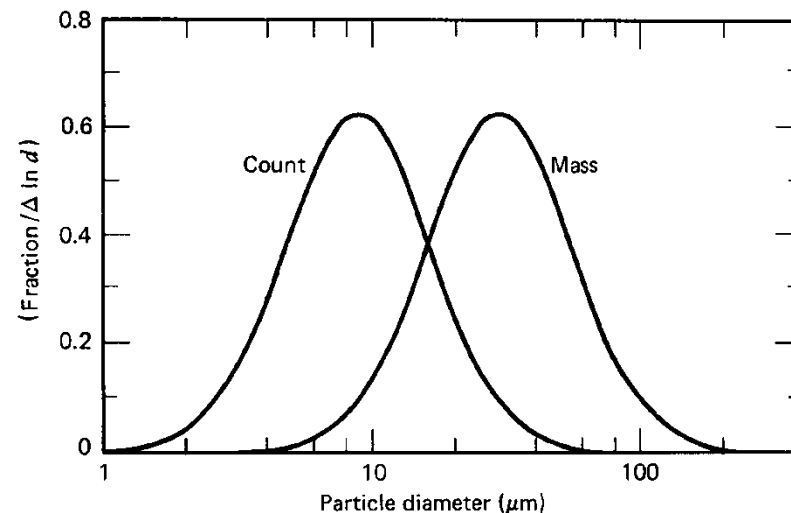
$$2 \ln \sigma_g = \ln(d_{97.5\%} / d_{50\%})$$

Σχέση μεταξύ $\bar{d}_p$ και d_{pg}

$$\bar{d}_p = d_{pg} \exp\left(\frac{(\ln \sigma_g)^2}{2}\right)$$

Η λογαριθμική κανονική κατανομή παριστάνεται ως ευθεία γραμμή σε διάγραμμα με συντεταγμένες το $\ln(d_p)$ και την αθροιστική κατανομή

Για μία συγκεκριμένη κατανομή η γεωμετρική τυπική απόκλιση παραμένει η ίδια, ανεξάρτητα αν αναφερόμαστε σε αριθμό σωματιδίων ή μάζα. (Αλλά η μέση γεωμετρική τιμή διαφέρει)



Μετρήσεις από έναν προσκρουστήρα με διαδοχικές επιφάνειες



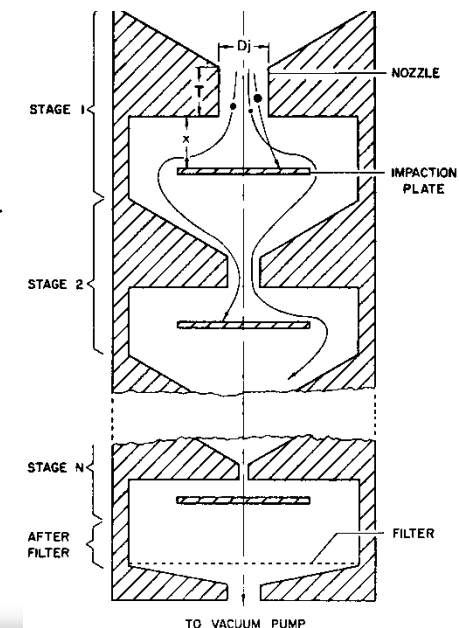
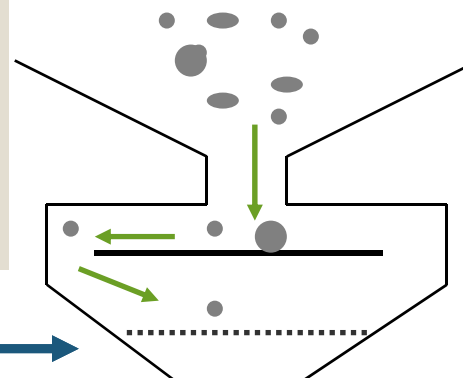
Size range (μm)	0-2	2-5	5-9	9-15	15-25	>25
Mass (mg)	4.5	179.5	368	276	73.5	18.5

Size range (μm)	Mass fraction (m_i)	Cumulative percent
0-2	0.0049	0.5
2-5	0.195	20.0
5-9	0.4	60.0
9-15	0.3	90.0
15-25	0.08	98.0
>25	0.02	100

$$m_i = \frac{M_i}{\sum M_i}$$

Είναι η κατανομή αυτή
λογαριθμική κανονική;
Αν ναι, ποιες είναι οι
τιμές των $d_{50\%}$ και s_g ;

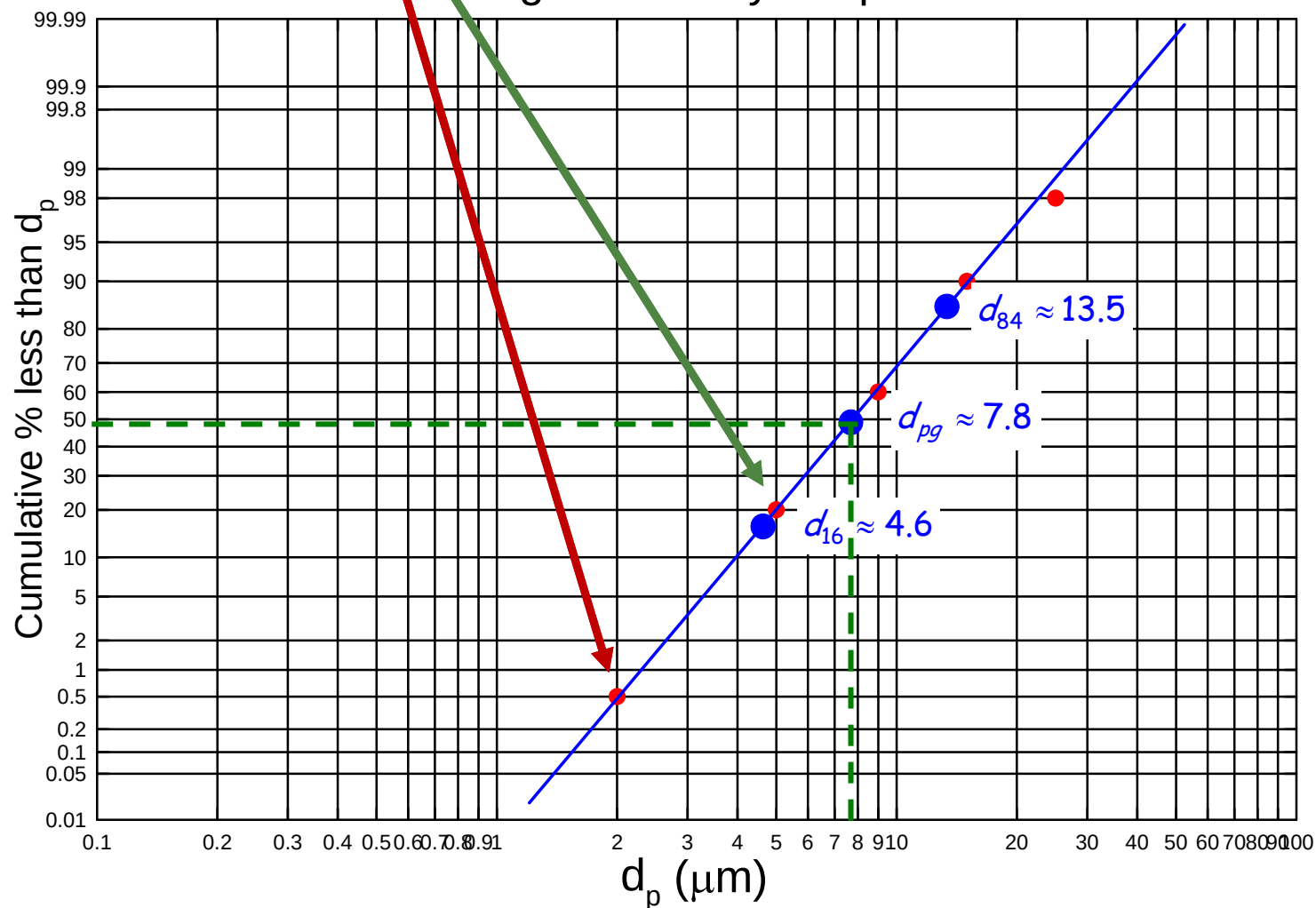
Φίλτρο





Size range (μm)	Mass fraction (m_i)	Cumulative percent
0-2	0.0049	0.5
2-5	0.195	20.0
5-9	0.4	60.0
9-15	0.3	90.0
15-25	0.08	98.0
>25	0.02	100

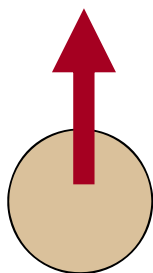
Log-Probability Graph



Συμπεριφορά σωματιδίου σε Ρευστό



Σωματίδιο
κινούμενο μέσω
ενός ρευστού



Οπισθέλκουσα δύναμη, F_D

$$F_D = \frac{1}{2} C_D A_p \rho_f V_r^2$$

$$C_D = \frac{24}{Re}$$

$$Re = \frac{D_p V_r \rho_f}{\mu}$$

Αριθμός Reynolds
σωματιδίου

C_D = συντελεστής οπισθέλκουσας

A_p = προβαλλόμενη επιφάνεια σωμα.

ρ_f = πυκνότητα ρευστού

V_r = σχετική ταχύτητα

D_p = διάμετρος σωματιδίου

μ = ιξώδες ρευστού

Περιοχή Stokes

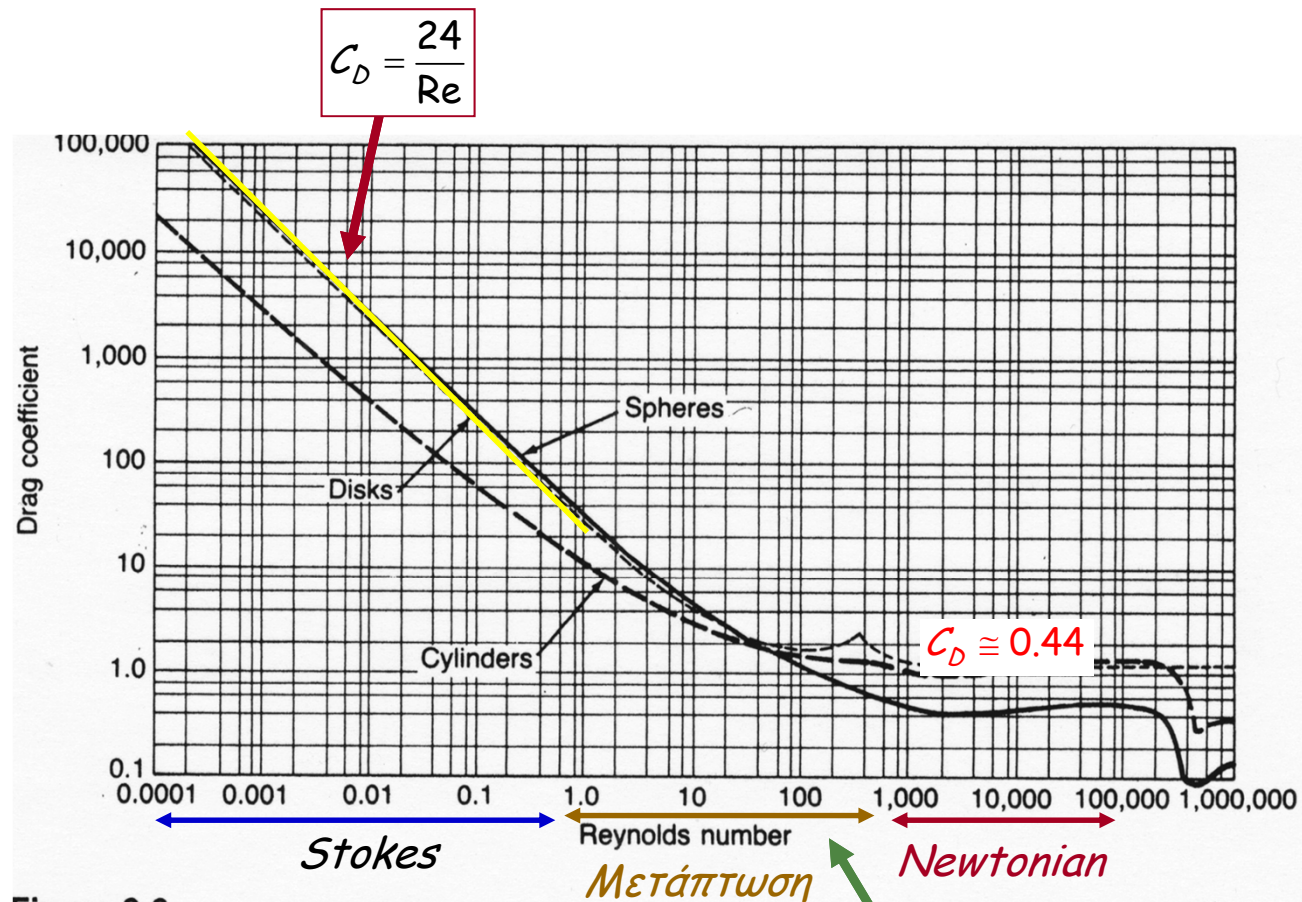
→ άκαμπτες σφαίρες

→ $10^{-4} < Re < 1$

$$F_D = 3\pi d_p \mu V_r$$

Νόμος του Stokes

Συντελεστής οπισθέλκουσας (C_D)



$$Re = \frac{d_p V_r \rho_f}{\mu}$$

Figure 3.6
Drag coefficients for spheres, disks, and cylinders.
(Adapted from Lapple and Shepherd, 1940.)

Cooper and Alley, 2002

$$C_D = \frac{24}{Re} (1 + 0.15 Re^{0.687})$$

Συντελεστής διόρθωσης λόγω ολίσθησης

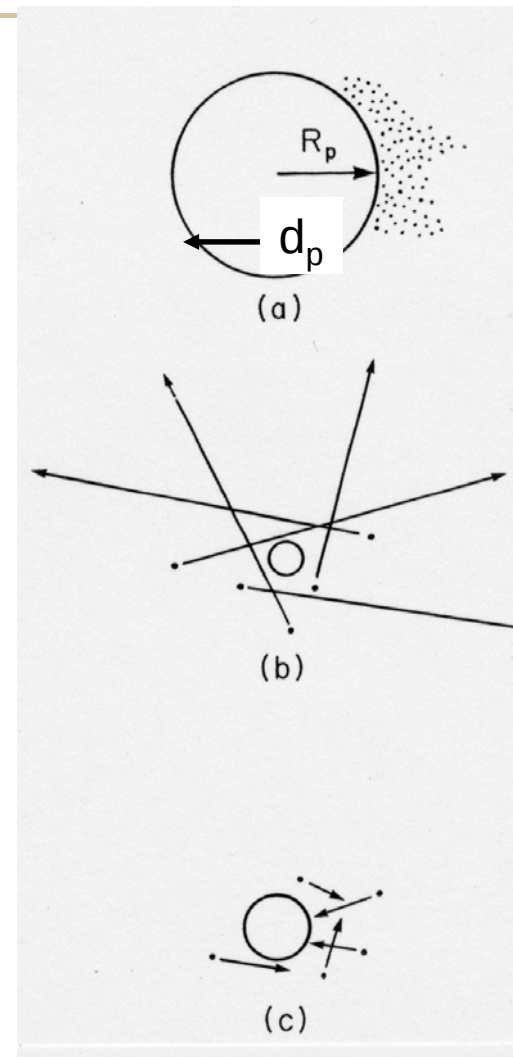


Όταν η d_p είναι κοντά στη μέση ελεύθερη διαδρομή των μορίων του αέρα, τότε τα σωματίδια «γλιστρούν» μεταξύ των μορίων. Αυτό μειώνει σημαντικά τη δύναμη οπισθέλκουσας. Ο αριθμός Knudsen καθορίζει τη διόρθωση για αυτή την ολίσθηση.

$$Kn = \frac{2\lambda}{d_p}$$

λ = μέση ελεύθερη διαδρομή

Χρειάζεται διόρθωση καθώς $Kn \rightarrow 1$



Συνεχές μέσο
 $Kn \rightarrow 0$

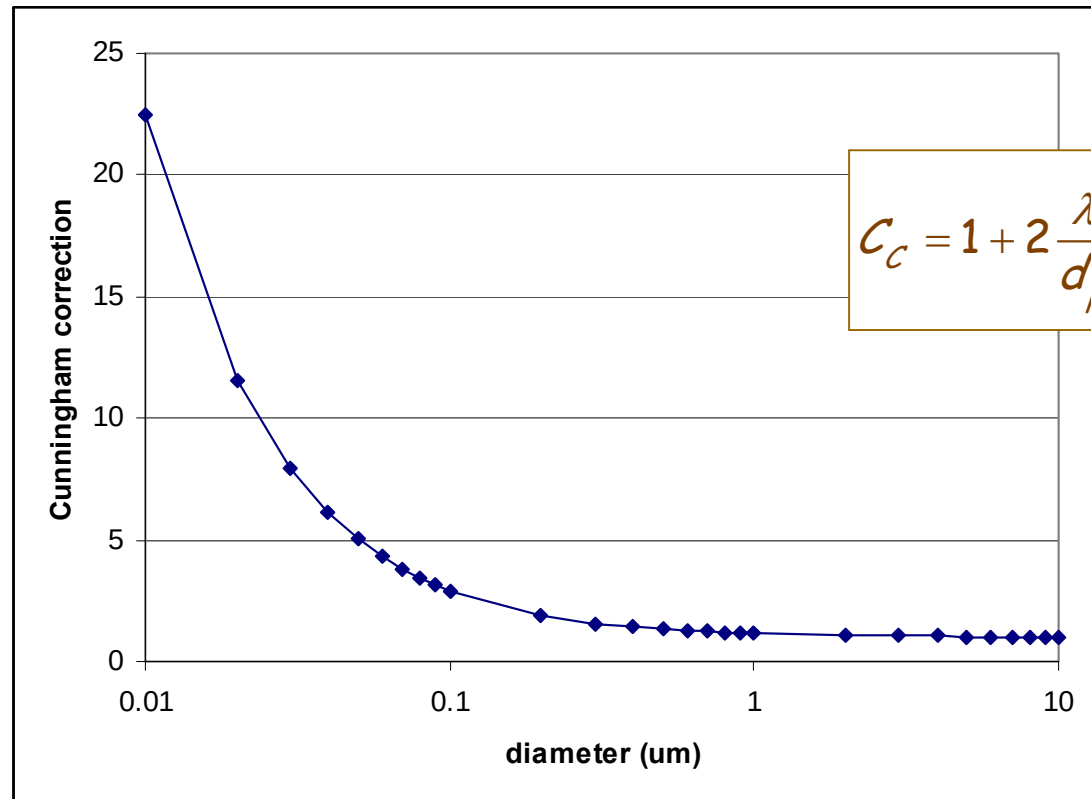
Ελεύθερα μόρια
(κινητική θεωρία)
 $Kn \rightarrow \infty$

Μετάπτωση
 $Kn \rightarrow 1$

Flagan and Seinfeld, 1988



Συντελεστής διόρθωσης Cunningham



$$C_c = \frac{C_D}{C(Re)}$$

$$C_c = 1 + 2 \frac{\lambda}{d_p} \left[1,257 + 0,40 \exp \left(-0,55 \frac{d_p}{\lambda} \right) \right]$$

Προσεγγίζει το
1 για μεγάλα
σωματίδια

μέση ελεύθερη διαδρομή ~ 0,065 μm σε T=25, P=1 atm

⇒ Λιγότερη αντίσταση στα μικρά σωματίδια



Ισοζύγιο δυνάμεων σε ένα σωματίδιο που κινείται σε ένα ρευστό

$$F_{\text{external}} - F_{\text{drag}} + F_{\text{buoyancy}} = F_{\text{on_particle}}$$

Υπόθεση: περιοχή
Stokes ($Re < 1$, σφαίρα)

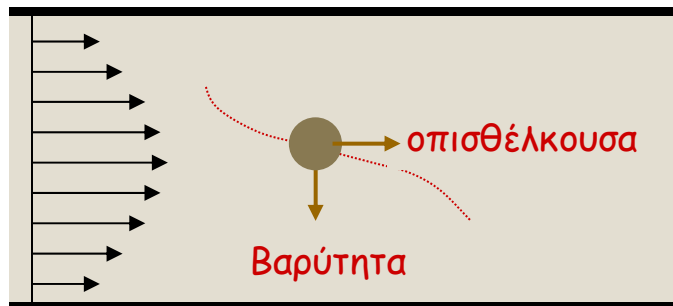
$$F_{\text{ext}} - \frac{3\pi\mu d_p v}{C_c} + m_p \frac{\rho_f}{\rho_p} g = m \frac{dv}{dt}$$

$$m = \frac{\pi d_p^3}{6} \rho_p \quad \longrightarrow \quad d_p = \frac{6m}{\pi \rho d_p^2}$$

$$\frac{dv}{dt} + \underbrace{\frac{18\mu}{\rho d_p^2 C_c}}_{1/\tau} v = \frac{F_{\text{ext}}}{m}$$

τ = χρόνος χαλάρωσης
(relaxation time -
χαρακτηριστικό χρόνος)

Αναφέρεται στο πόσο
γρήγορα ένα σωματίδιο
προσαρμόζεται σε νέες
συνθήκες





Ταχύτητα καθίζησης σωματιδίου σε ένα ήρεμο ρευστό

$$\frac{dv}{dt} + \frac{v}{\tau} = \frac{F_{ext}}{m}$$

Και εάν

$$F_{ext} = mg$$

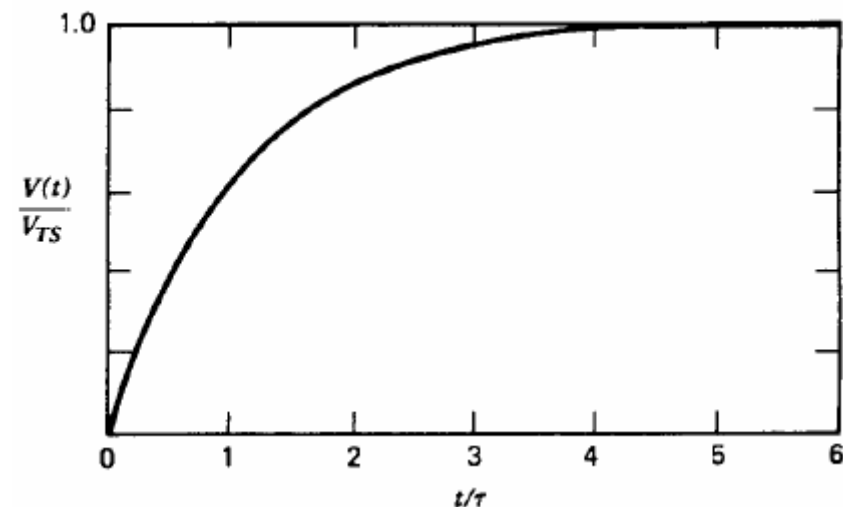
$$\frac{dv}{dt} + \frac{v}{\tau} = g$$



$$v = \tau g \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]$$

Όταν $\tau \ll t$, τότε το σωματίδιο έχει φτάσει σε μία σταθερή ταχύτητα:
Οριακή ταχύτητα καθίζησης (terminal settling velocity), v_t :

$$v_t = \tau g = \frac{\rho d^2 C_c}{18\mu} g$$





Χαρακτηριστικοί χρόνοι και ταχύτητα καθίζησης

Σε κανονικές συνθήκες

Διάμετρος σωματιδίου (μm)	Χαρακτηριστικός χρόνος (s)
0.01	7.0×10^{-9}
0.1	9.0×10^{-8}
1.0	3.5×10^{-6}
10.0	3.1×10^{-4}
100	3.1×10^{-2}

Οι χαρακτηριστικοί χρόνοι των σωματιδίων είναι πολύ μικροί!
Μπορούμε να υποθέσουμε ότι στιγμιαία αποκτούν την οριακή ταχύτητα

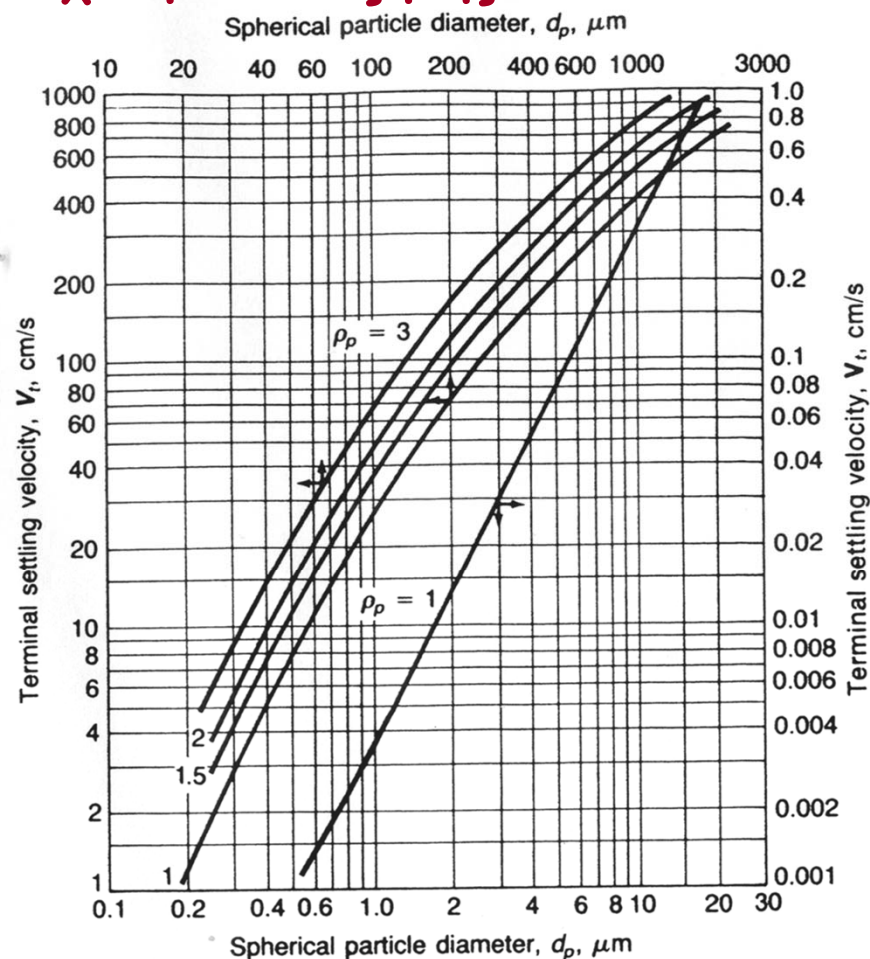


Figure 3.8

Terminal settling velocity of spherical particles in air at STP (particle density given in g/cc).

(Adapted from Wark and Warner, 1981.)



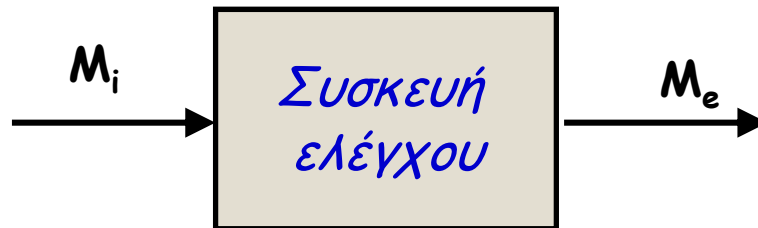
Απόδοση συλλογής (collection efficiency)

Η απόδοση συνήθως ορίζεται με βάση τη μαζική παροχή

$$\eta = \frac{\dot{M}_i - \dot{M}_e}{\dot{M}_i} = \frac{L_i - L_e}{L_i}$$

κλάσμα

$\dot{M}$ = μαζική παροχή (π.χ. g/s)
 L = φόρτιση σωματιδίων (g/m³)
i: είσοδος
e: έξοδος



- Επηρεάζουν το η : σχήμα, πυκνότητα, ροή, υγρασία κτλ.
- Οι διάφορες συσκευές έχουν διαφορετική απόδοση για διαφορετικά μεγέθη σωματιδίων. Αν είναι γνωστή η κατανομή μεγέθους

$$\eta = \sum_i \eta_i m_i$$

Απόδοση του μεγέθους d_{pi}

κλάσμα μάζας του μεγέθους d_{pi}

$$m_i = \frac{m(d_{pi})}{\sum m(d_{pi})} = \frac{m(d_{pi})}{\text{Συνολ. μάζα}}$$



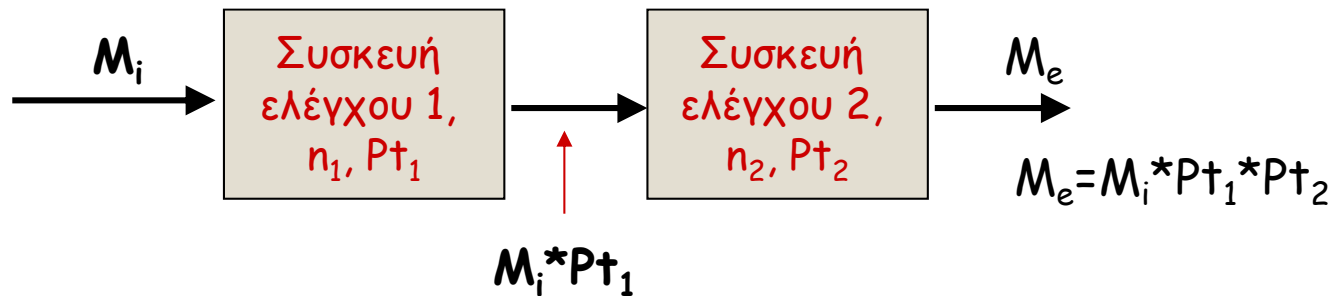
Απόδοση συλλογής - Συσκευές εν σειρά

$$\eta = \frac{\dot{M}_i - \dot{M}_e}{\dot{M}_i}$$

Απόδοση συλλογής

$$Pt = \frac{\dot{M}_e}{\dot{M}_i} = 1 - \eta$$

Διείσδυση

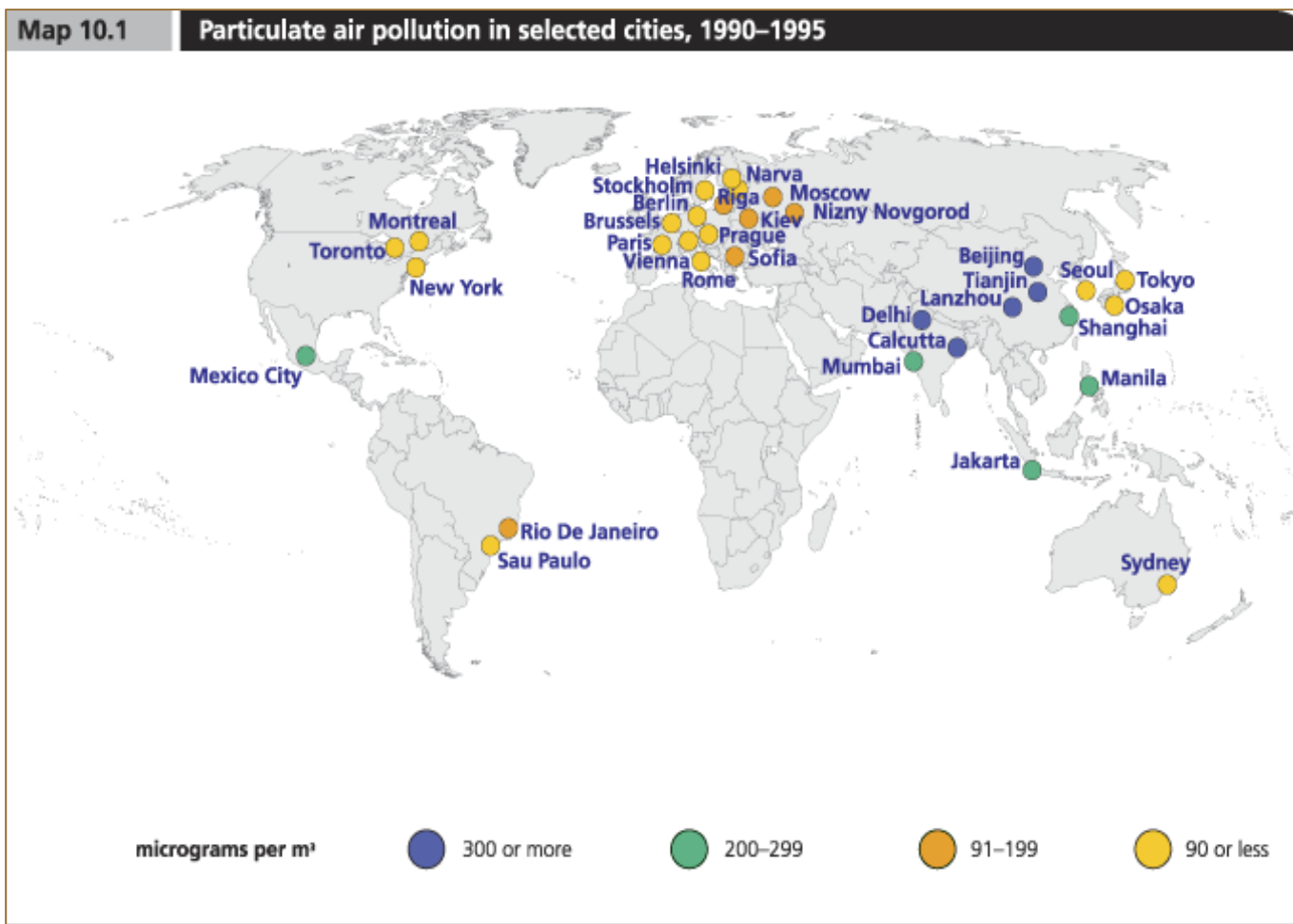


Συνολική διείσδυση

$$Pt_o = \prod_{i=1}^N Pt_i$$



Σωματιδιακή ρύπανση σε διάφορες πόλεις





Βιομηχανικός
σταθμός



Figure 2 Example of an industrial station. The measurement station Portoscuso – Rio su Cannoni (35) of the monitoring network of the Province of Cagliari, Italy. Photo © Provincia di Cagliari, Italy.

Στην εξοχή

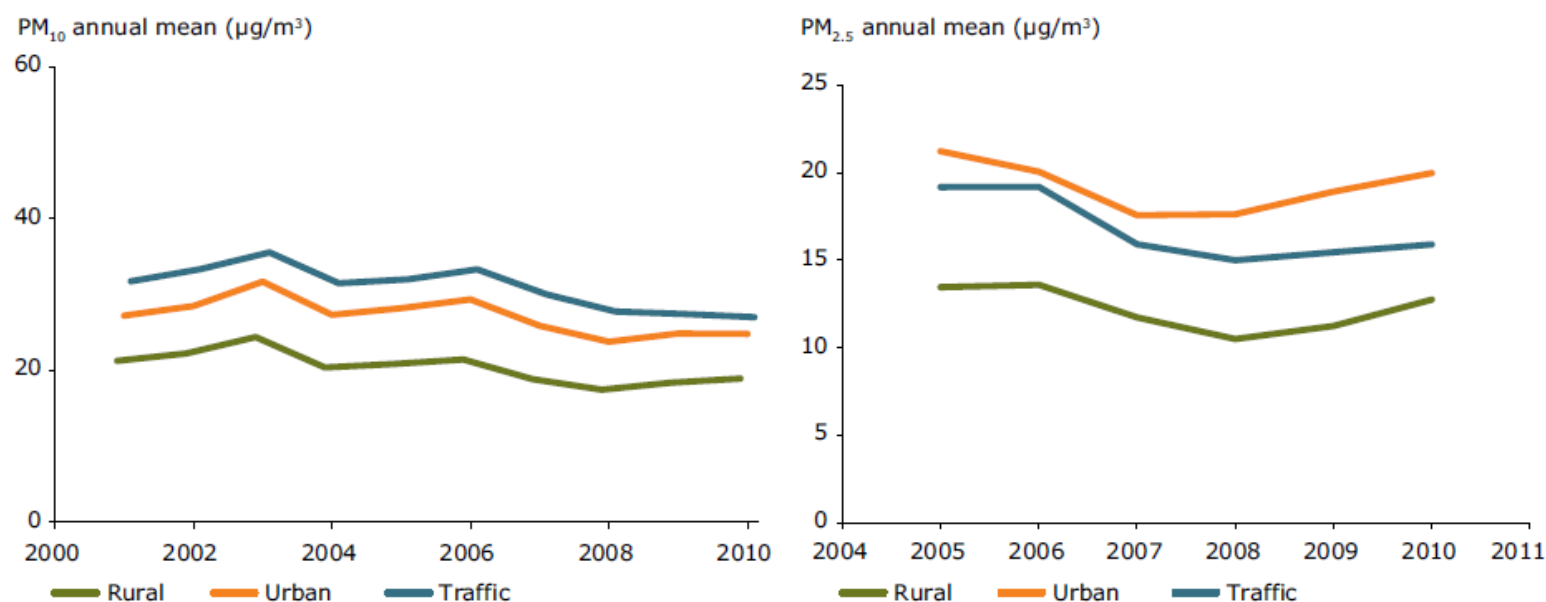


Figure 3 Example of a regional background station. The measurement station Schöneben of the monitoring network of the province of Oberösterreich, Österreich. Photo and map © Land Oberösterreich, Austria.



Η εξέλιξη της σωματιδιακής ρύπανσης στην Ε.Ε.

Figure 2.5 Trend in PM_{10} (left graph, 2001–2010) and $PM_{2.5}$ (right graph, 2005–2010) concentrations per station type



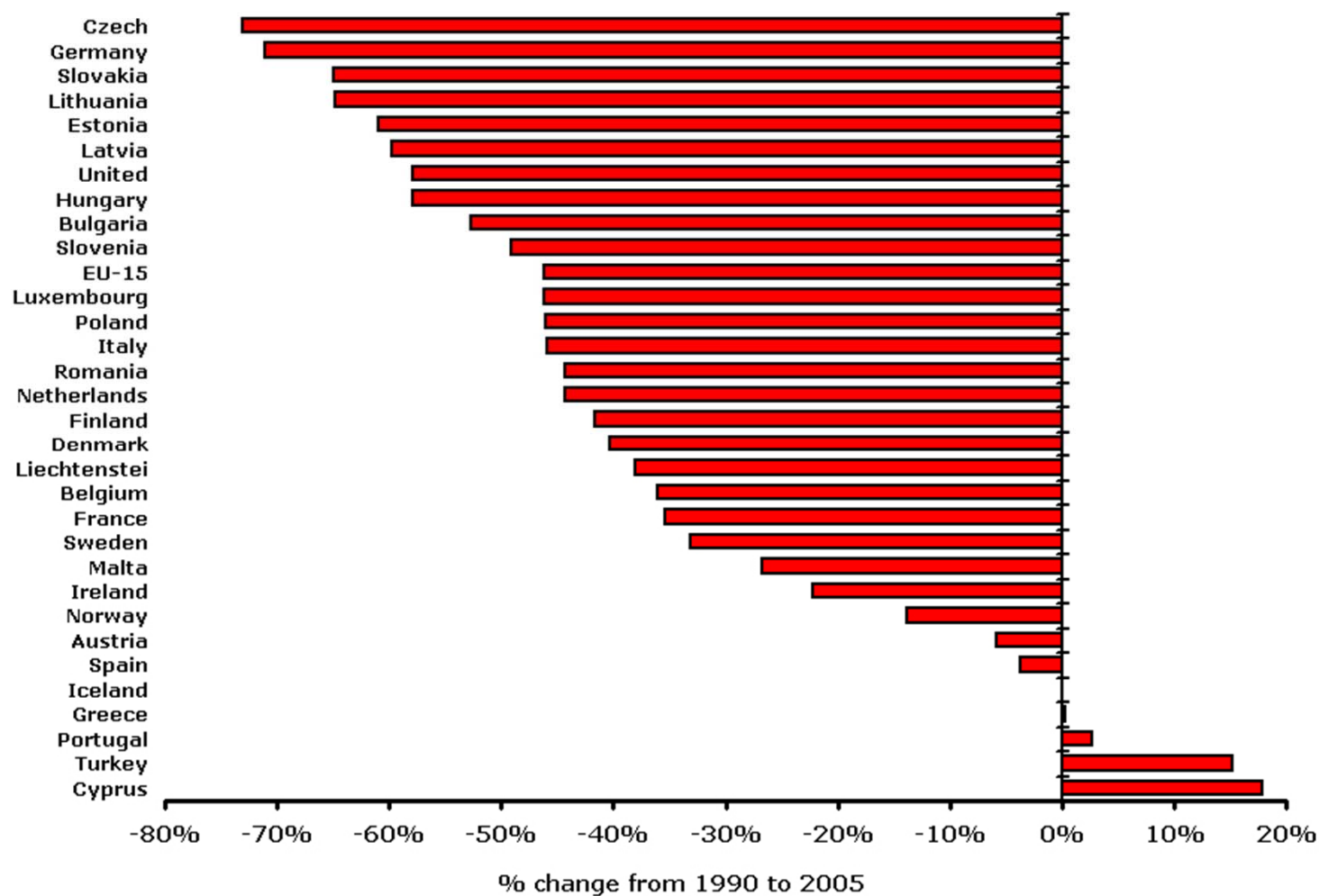
Note: All stations in EU Member States, with at least 75 % data coverage for at least eight years (PM_{10}) or six years ($PM_{2.5}$), were included in the analysis. Concentrations per station type are given in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In the diagrams a geographical bias exists towards central Europe where there is a higher density of stations.

In 2006, France introduced a nation-wide system to correct PM_{10} measurements. French PM_{10} data prior to 2007 have been corrected using station-type dependent factors (de Leeuw and Fiala, 2009).

Source: ETC/ACM.



Η εξέλιξη της σωματιδιακής ρύπανσης στην Ε.Ε.





Αιωρούμενα σωματίδια: τυπικές τιμές PM10

Μέσες ετήσιες τιμές:

- Απομακρυσμένες περιοχές: 3-8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *, συμμετοχή οργανικού άνθρακα 10-15%
- Κεντρική & Βόρεια Ευρώπη: (γενικά) 20-40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ συμμετοχή οργανικού άνθρακα 25-35%
- Μεσογειακές χώρες (π.χ. Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Ρώμη, Βαρκελώνη): 45-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Τα PM2.5: Ίσως υψηλότερα σε πόλεις της Κεντρικής Ευρώπης από ότι στη Μεσόγειο

$$* \quad 1 \mu\text{g} = \frac{1}{1.000} \text{mg} = \frac{1}{1.000.000} \text{g}$$



ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΙΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ: ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

 Οδηγία 1999/30/ΕΚ του συμβουλίου για τα PM₁₀	Στάδιο 1 από 1 Ιανουαρίου 2005	Στάδιο 2 από 1 Ιανουαρίου 2010
Μέση ετήσια οριακή τιμή	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέση ημερήσια (24-hour)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Επιτρεπόμενος αριθμός ημερών υπέρβασης ανά έτος	35	7

	Από 11.6.2010
Μέσος ετήσιος όρος PM ₁₀	20-28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Μέσος όρος 24 ωρών PM ₁₀	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Επιτρεπόμενος ετήσιος αριθμός ημερών υπέρβασης	35
Μέσος ετήσιος όρος PM _{2.5}	12-17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

58/58

ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ



World Health
Organization

PM_{2.5}

10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μέση ετήσια τιμή

25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μέση 24-ωρη τιμή

PM₁₀

20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μέση ετήσια τιμή

50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μέση 24-ωρη τιμή

Η ΕΡΑ στις Η.Π.Α. δίνει μεγαλύτερη σημασία στα PM_{2.5} και από το τέλος του 2006 μείωσε την μέση ημερήσια τιμή των PM_{2.5} στα **35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , με τη μέση ετήσια οριακή τιμή στα **15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .



Italie: circulation interdite à Milan en raison de la pollution

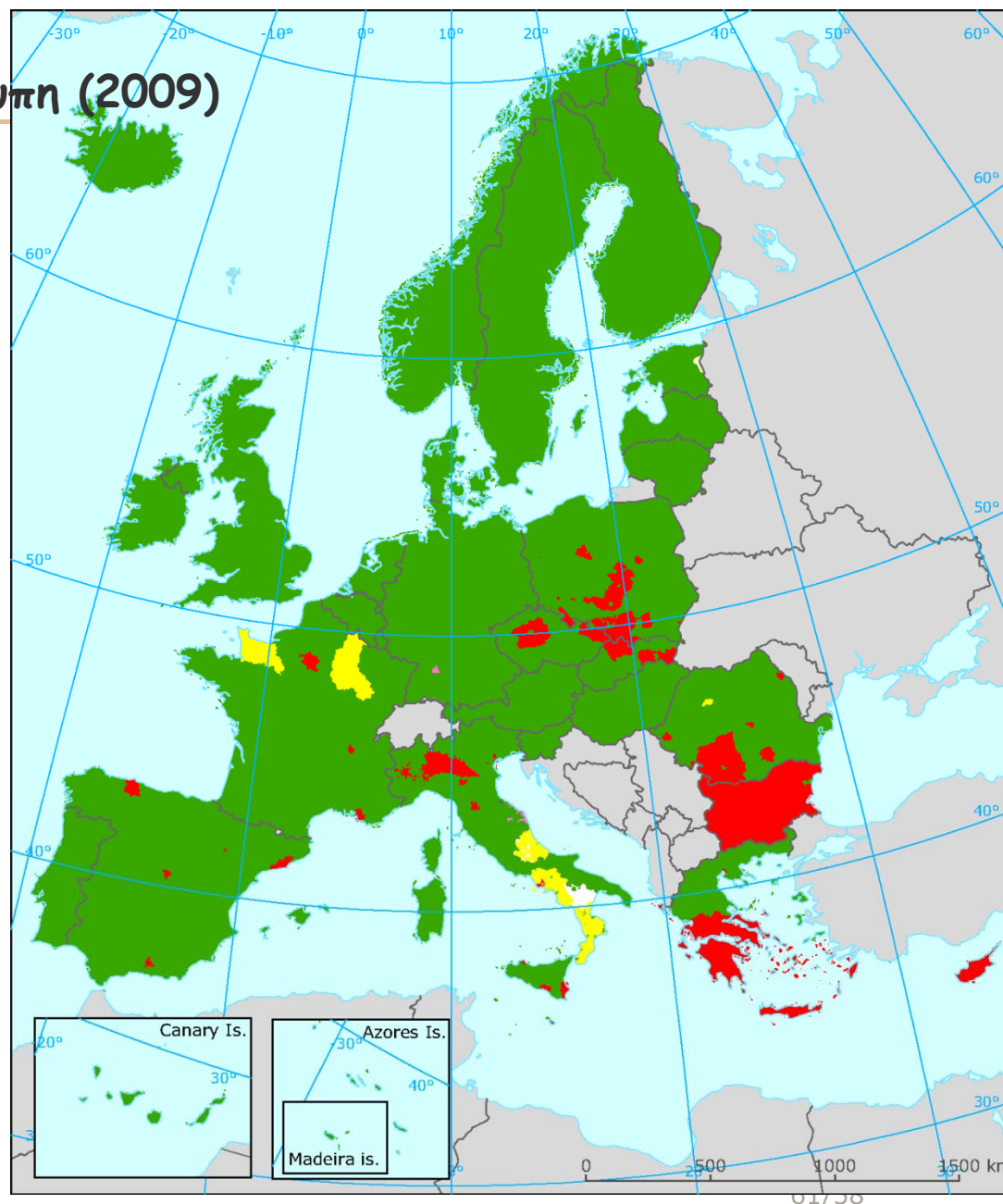
La circulation automobile a été interdite totalement dimanche à Milan, de 08h00 à 18h00 locales, a-t-on appris auprès de sa municipalité. En cause: la forte pollution atmosphérique dans l'air qui perdure depuis deux semaines.



BBC News (9/10/2011): Car-free Sunday for smog-struck Milan

PM₁₀ στην Ευρώπη (2009)

Υπέρβαση του
ορίου ετήσιας
μέσης τιμής PM₁₀
των 40 µg/m³
της Οδηγίας
1999/30/EC



Particulate matter (PM₁₀) 2009

Annual limit value for the protection of human health

Green ≤ limit value

Red > limit value

Pink Zone with time extension granted: limit value to limit value plus margin of tolerance

Yellow Zone designated, data missing

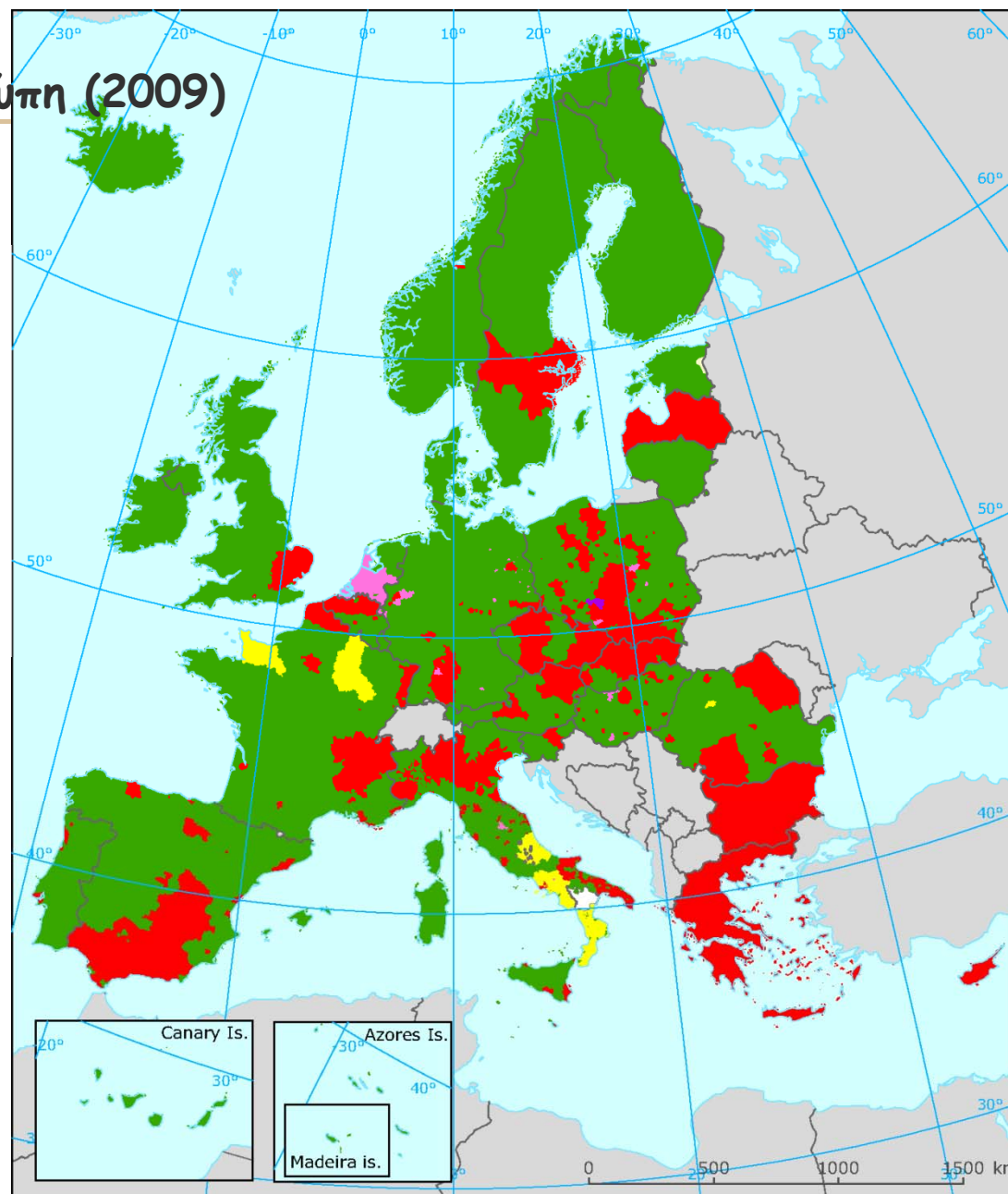
White Area not designated

Grey Geospatial information missing

Light grey Outside data coverage

PM10 στην Ευρώπη (2009)

Υπέρβαση του
ετήσιου ορίου των
35 ημερών με 24-
ωρη μέση τιμή
PM₁₀ άνω των
50 µg/m³ της
Οδηγίας
1999/30/EC



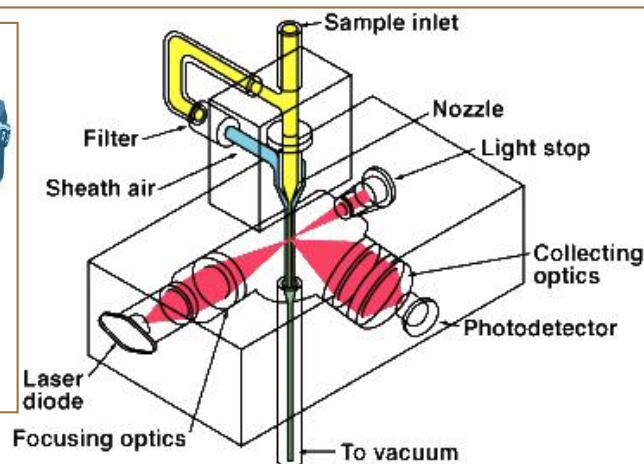
Particulate matter (PM10) 2009

Daily limit value for the
protection of human health

- ≤ limit value
- > limit value
- Zone with time
extention granted: limit
value to limit value plus
margin of tolerance
- Zone with time
extention granted:
> limit value plus
margin of tolerance
- Zone designated, data
missing
- Area not designated
- Geospatial information
missing
- Outside data coverage



ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ PM-10 ΣΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



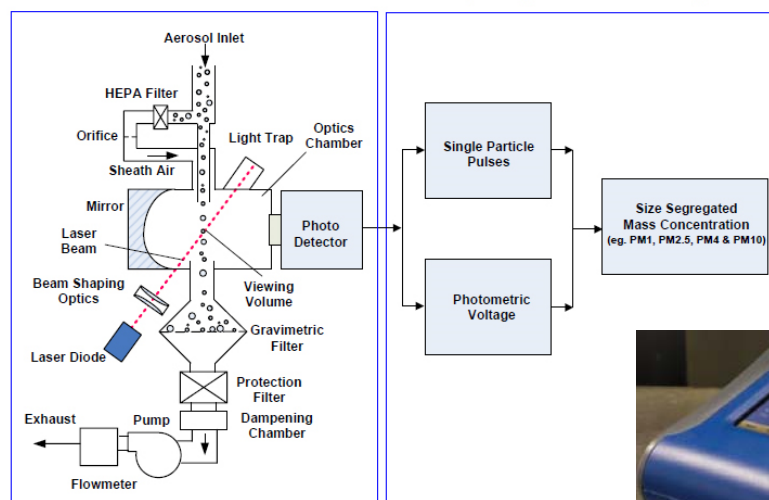
Ο 1^{ος} Σταθμός μέτρησης του ΠΘ λειτουργεί από το 2005 στο Πεδίο Άρεως

Η συντήρηση του σταθμού και η έκδοση των μηνιαίων δελτίων γίνεται από προσωπικό του Εργαστηρίου Θερμοδυναμικής & Θερμικών Μηχανών.

Αρχή λειτουργίας του DustTrak (90° laser light scattering)

Aerosol Measurement

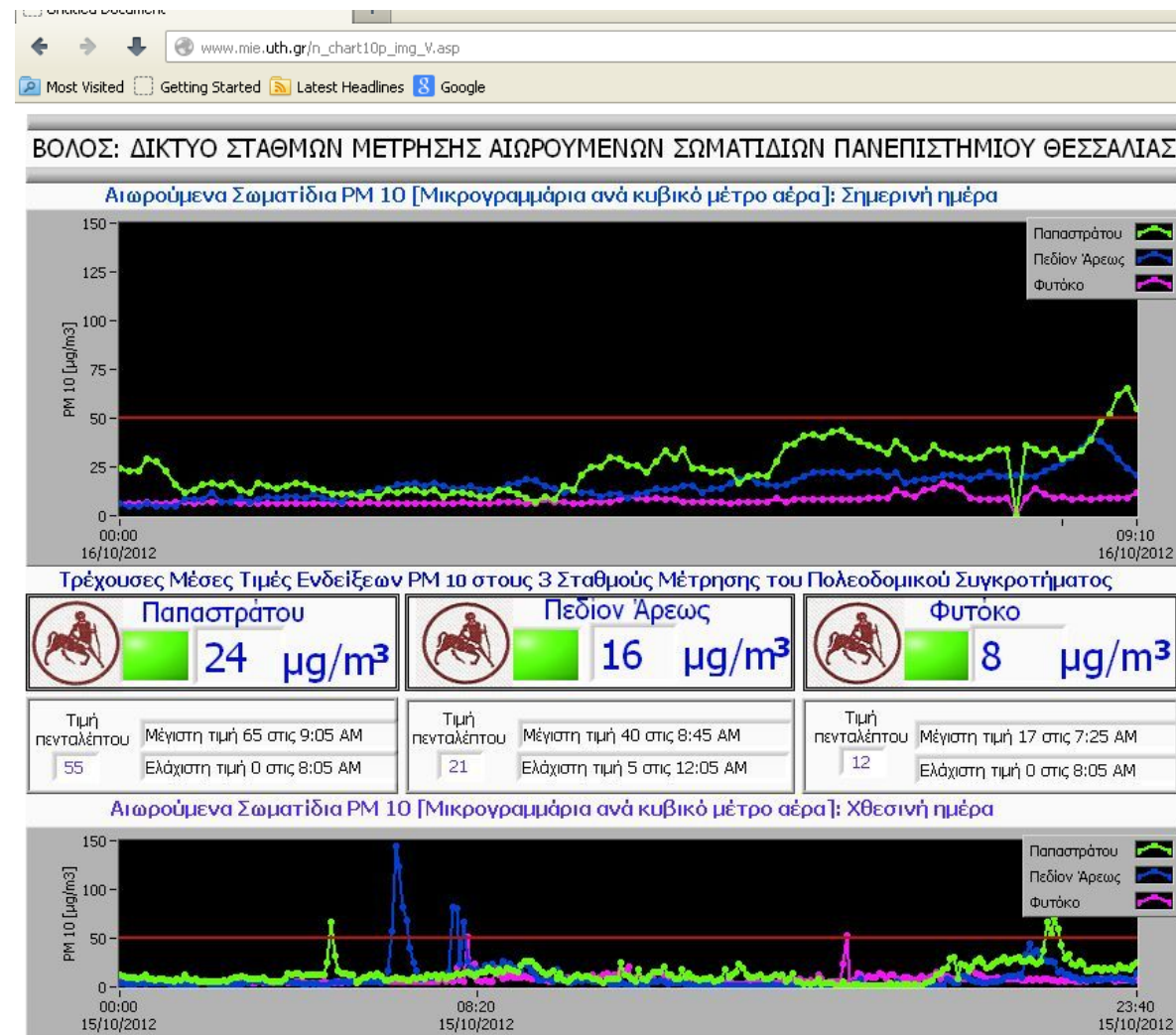
Signal Acquisition and Processing



Αρχή λειτουργίας του DustTrak II



ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



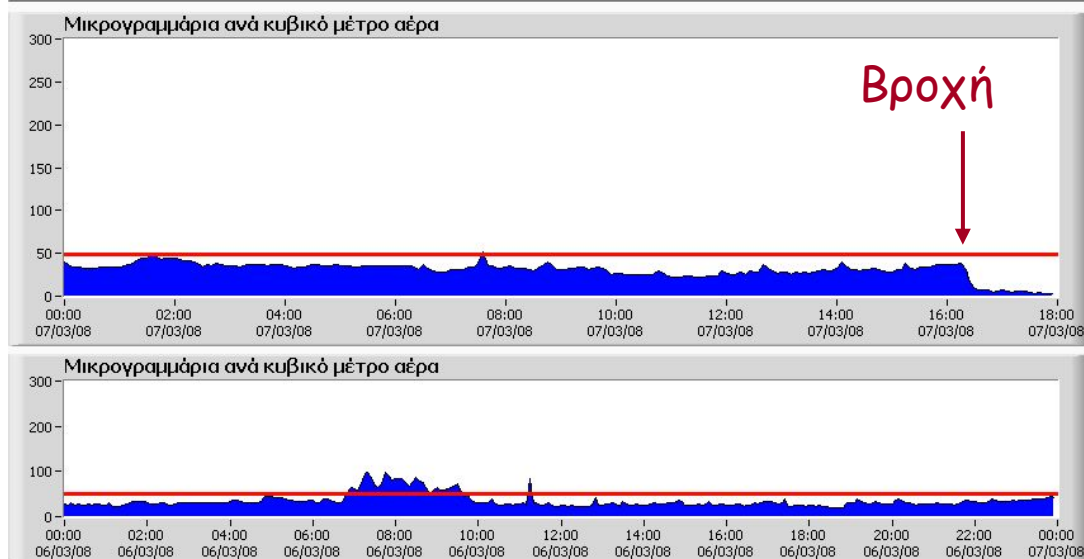
Αριθμός Επισκεπτών: 31452

[Επιστροφή](#)



ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΠΕΔΙΟΥ ΑΡΕΩΣ



Στο πάνω διάγραμμα απεικονίζονται οι σημερινές μετρήσεις από τα μεσάνυχτα έως τώρα και στο κάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι μετρημένες συγκεντρώσεις σωματιδίων κατά τη διάρκεια της χθεσινής ημέρας.

Αυτόματη ανανέωση κάθε 5 λεπτά

Τελευταία ένδειξη

3

ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΗΜΕΡΑ

7/3/2008

τρέχων μέσος όρος 31

Ελάχιστη τιμή 3 στις 5:45 μμ

Μέγιστη τιμή 52 στις 7:35 πμ

ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΗΜΕΡΑ

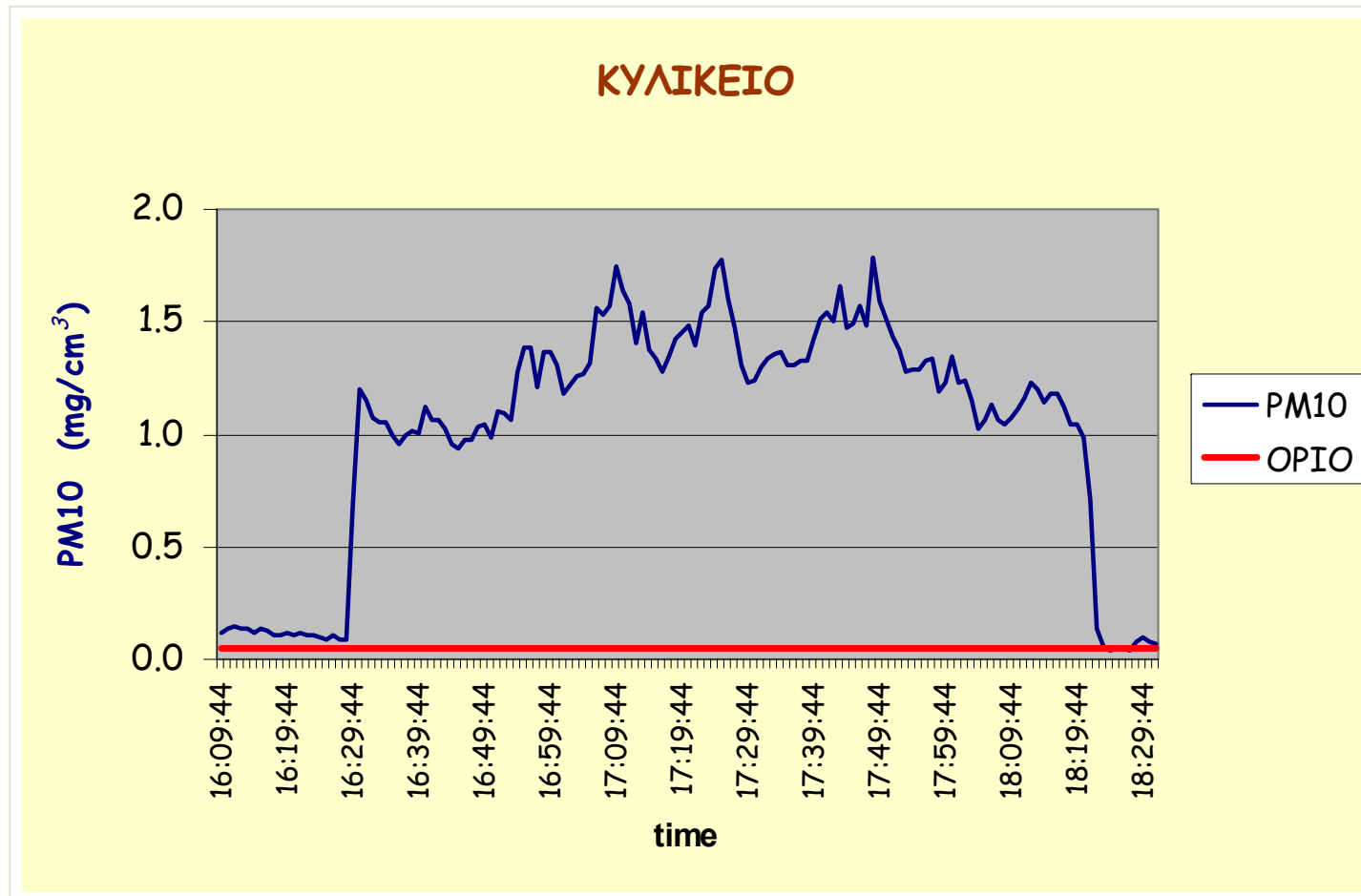
6/3/2008

μέσος όρος 35

Ελάχιστη τιμή 19 στις 6:40 μμ

Μέγιστη τιμή 99 στις 7:20 πμ

PM10 στο Κυλικείο της Πολυτεχνικής



* Οι τιμές είναι σε mg/m³ (1000 μg/m³)



ΣΑΒΒΑΤΟΚΥΡΙΑΚΟ

Έρευνα - αποκάλυψη της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Βρώμικο αέρα αναπνέουν 6 πόλεις

Τα μικροσωματίδια δηλητηριάζουν τους Έλληνες

«Μειώνουν
το προσδόκιμο
ζωής κατά
9 μήνες»

ΑΦΡΟΔΙΤΗ ΜΟΥΡΕΛΑΤΟΥ
Επικεφαλής του
Ευρωπαϊκού Οργανισμού
για τη Ρύπανση



Αέρα «εμπλουτισμένο» με τοξικά μικροσωματίδια και ρύπους που συνδέονται με αύξηση της θνησιμότητας αναπνέουν οι κάτοικοι Θεσσαλονίκης, Αθήνας, Ηρακλείου, Λάρισας, Βόλου, Πάτρας, σύμφωνα με έρευνα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



ΣΕΛΙΔΕΣ 20-21

ΤΑ ΝΕΑ, 25 Απριλίου 2008

Ήταν έκπληξη
το πρωτοσέλιδο
των ΝΕΩΝ στις
25/4/2008;



ΤΑ ΝΕΑ, 25 Απριλίου 2008

Οι ευρωπαϊκές πόλεις με τη χειρότερη ποιότητα αέρα

*Προφανώς στον κατάλογο θα πρέπει να προστεθούν και άλλες πόλεις που δε γίνεται καταγραφή των ρύπων

ΜΙΚΡΟΣΩ- ΜΑΤΙΔΙΑ

Αριθμός
ημερών που
υπερβαίνονται
τα όρια ανά έτος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 208

Μίσκολτς (Ουγγαρία) 201

ΑΘΗΝΑ 174

Βουδαπέστη (Ουγγαρία) 166

ΛΑΡΙΣΑ 151

Λευκωσία (Κύπρος) 144

ΠΑΤΡΑ 138

Λιέγη (Βέλγιο) 132

Βίλνιους (Λιθουανία) 118

Οπόρτο (Πορτογαλία) 109

Κοϊμπρα (Πορτογαλία) 99

Γκντανσκ (Πολωνία) 97

ΒΟΛΟΣ 95

Πεκς (Ουγγαρία) 93

Μπιντγκόστς (Πολωνία) 93

Οστράβα (Τσεχία) 91

Μπρατισλάβα (Σλοβακία) 87

Λάμπεμ (Τσεχία) 87

Μάντσεστερ (Αγγλία) 71

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 69



Γιατί η Λάρισα (ή ο Βόλος) να διαφέρει από άλλες πόλεις;

- ☑ Πυκνά δομημένη πόλη, χωρίς μεγάλες λεωφόρους και χώρους **πρασίνου** (>100 m²/κάτοικο στη **Στοκχόλμη**, Λάρισα;)
- ☑ Έλλειψη σταθερού (ηλεκτροκίνητου) μέσου μαζικής μεταφοράς
- ☑ Συχνά κυκλοφοριακά προβλήματα
- ☑ Επαναιώρηση σωματιδίων από δρόμους, αγρούς, κατασκευές κτλ.
- ☑ Παλαιότητα στόλου αυτοκινήτων («γερασμένα» φορτηγά & λεωφορεία, μόλις 1 στα 20 φορτηγά έχει ηλικία μικρότερη από 5 χρόνια! – στοιχεία 2006)
- ☑ Ενεργοβόρα κτίρια, μερική υποκατάσταση πετρελαίου θέρμανσης από φυσικό αέριο
- ☑ Ξηροθερμικό μεσογειακό κλίμα με έλλειψη ανέμων (λόγω γεωγραφικής θέσης), μεγάλες περιόδους ανομβρίας (⇒ στασιμότητα αέριων μαζών)
- ☑(πυρκαγιές δασών, σκόνη από την Αφρική)....

Τι άλλο είδαμε;



ΤΑ ΝΕΑ, 25 Απριλίου 2008

Αφροδίτη Μουρελάτου
επικεφαλής του τομέα Αέρα και Μεταφορών,
Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος

**Μειώνουν το προσδόκιμο
ζωής κατά εννιά μήνες**

Simon Birkett, of the Campaign for Clean Air in London, suggested banning certain vehicles from city centres altogether was the only solution. '**Air pollution killed three times more people in the UK last year than passive smoking did**, but which one did the government tackle first? They were happy to take on the cigarette companies, but not the Great British love affair with the car.'

Thomas Quinn

The Observer, Sunday May 4 2008

Δρ Ρότζερ Πενγκ
καθηγητής Βιοστατιστικής στη Σχολή
Δημόσιας Υγείας Johns Hopkins, ΗΠΑ

**Θα είχαμε 11.000
λιγότερους ασθενείς
αν ήταν καθαρός ο αέρας**

Ειδήσεις > Πολιτικά > Κόσμος >

**Κίνα: 10.000 πρόωροι θάνατοι λόγω της
ατμοσφαιρικής ρύπανσης**

Η ΝΑΥΤΕΜΠΟΡΙΚΗ ON LINE Πέμπτη, 12 Ιουνίου 2008 08:10

Εκτύπωση Αποστολή Φυλάξτε το Α Μεγλύτερα Γράμματα Ακούστε το

Η ατμοσφαιρική μόλυνση προκαλεί 10.000 πρόωρους θανάτους το χρόνο στο Χονγκ Κονγκ, το Μασάκον και το Δέλτα του Μαργαριταρένιου Ποταμού, σύμφωνα με έρευνα που δημοσιεύεται σήμερα Πέμπτη.

Κινηζικά μέσα μαζικής ενημέρωσης αναφέρουν ότι σύμφωνα με έρευνα από το ινστιτούτο *Civic Exchange*, που εδρεύει στο Χονγκ Κονγκ, το επιδεινούμενο νέφος εκτιμάται ότι



Γενικές Προτάσεις για Μερική Αντιμετώπιση

- Θα πρέπει βασικά να αλλάξουμε συνήθειες για τον περιορισμό της χρήσης του αυτοκινήτου στο κέντρο της πόλης:
 - ενίσχυση και ενθάρρυνση της ανάπτυξης των μαζικών μέσων μεταφοράς (κυρίως των ηλεκτροκίνητων),
 - επέκταση πεζόδρομων & ποδηλατοδρόμων,
 - ώθηση της χρήσης ποδηλάτου ή και να περπατάμε περισσότερο (κάνει καλό και στην υγεία)
 - οι χώροι στάθμευσης να κατασκευάζονται περιφερειακά της πόλης (και να είναι φθηνοί) και όχι στο κέντρο.
 - ολοκλήρωση περιφερειακού δρόμου
 - διόδια για το κέντρο της πόλης.....
- Περαιτέρω **διείσδυση του φυσικού αερίου** για τη θέρμανση κτηρίων με ταυτόχρονη προσπάθεια για μείωση των θερμαντικών αναγκών με κατάλληλα μέτρα (μόνωση, αυτοματισμοί...).
- **Αντικατάσταση** παλαιών λεωφορείων με λεωφορεία νέας τεχνολογίας



Γενικές Προτάσεις για Μερική Αντιμετώπιση

- Συστηματικότερος έλεγχος των αέριων εκπομπών από τις βιομηχανίες, τις κεντρικές θερμάνσεις των κτιρίων, τα αυτοκίνητα, τα δίκυκλα
- Δενδροφυτεύσεις όπου είναι δυνατόν, ακόμη και περιφερειακά της πόλης. Η βλάστηση αποτελεί τον αποτελεσματικότερο τρόπο δέσμευσης των σωματιδίων
- Γρήγορη ανακατασκευή των δρόμων και άλλων κατασκευών, κατάβρεγμα κατά τη διάρκεια κατεδαφίσεων κτλ.
- Περιοδικό πλύσιμο και καθαρισμός των δρόμων και των πεζοδρομίων
- Παρακολούθηση των PM10 (ή καλύτερα των PM2.5) και λήψη μέτρων σε έκτακτες ανάγκες (π.χ. σε θερμοκρασιακή αναστροφή): απαγόρευση κυκλοφορίας αυτοκινήτων (ιδίως φορτηγών) στο κέντρο της πόλης, μείωση της παραγωγής στη βιομηχανία, απαγόρευση τζακιών κτλ.
- Σύστημα αξιολόγησης της απόδοσης των μέτρων.
-