

Πετρελαιοκίνηση και αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια

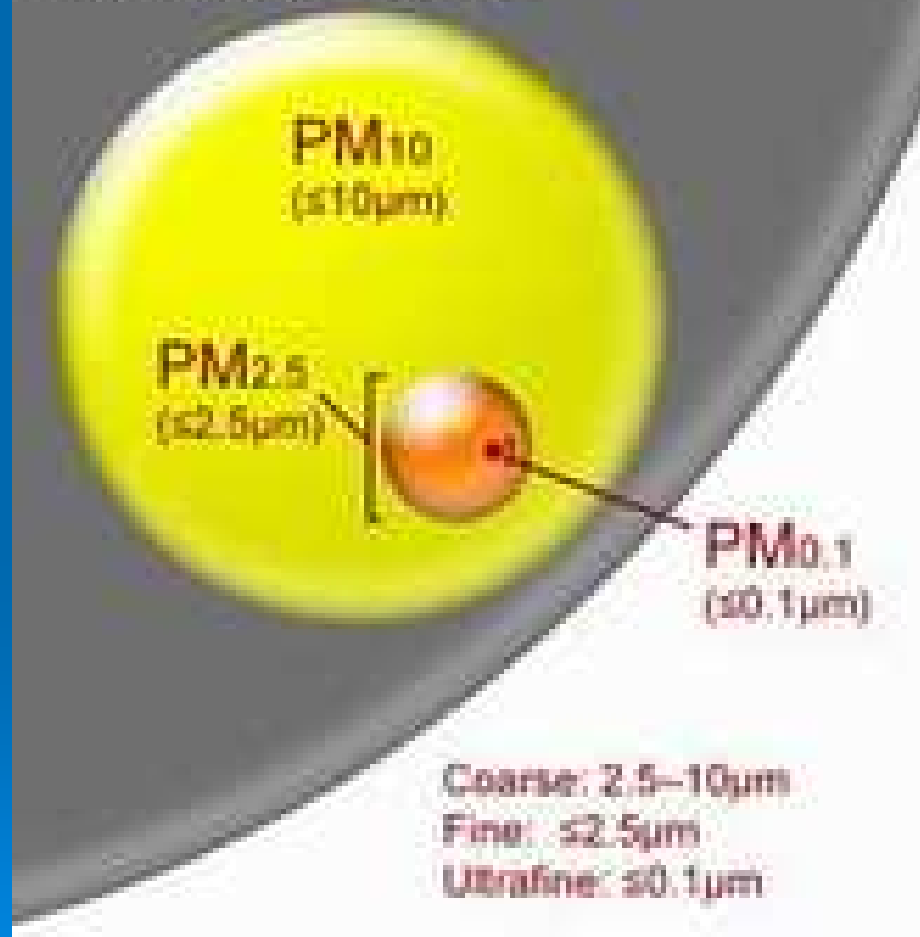
Κλέα Κατσουγιάννη,
Εργαστήριο Υγιεινής, Επιδημιολογίας και Ιατρικής Στατιστικής
Ιατρική Σχολή Πανεπιστημίου Αθηνών

20^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Νοσημάτων Θώρακος
Αθήνα 24-27 Νοεμβρίου 2011

Δείκτες σωματιδίων που χρησιμοποιούνται. Ορισμένοι μετριοούνται σε καθημερινή βάση.

- (Μαύρος) Καπνός (**BS**): μαύρα σωματίδια διαμέτρου $<4\mu\text{m}$. Δείκτης με μακρόχρονη χρήση στην Ευρώπη (συγκέντρωση $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Συμπεριλαμβάνονταν στη νομοθεσία της Ε.Ε. μέχρι το 1999 και στις Οδηγίες της Π.Ο.Υ. του 1987.
- **PM₁₀**: σωματίδια με διάμετρο $<10\mu\text{m}$ (συγκέντρωση $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Υιοθετήθηκε ως κύριος δείκτης στις Η.Π.Α. το 1989 και στην Ε.Ε. το 1999. Επίσης συμπεριλαμβάνεται στις νεώτερες οδηγίες της Π.Ο.Υ. (από το 2000).
- **PM_{2.5}**: σωματίδια με διάμετρο $<2.5\mu\text{m}$ (συγκέντρωση $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Συμπεριλαμβάνεται στη νομοθεσία των Η.Π.Α (**fine particles**).
- **PM₁** ή **PM_{0.1}**: σωματίδια με διάμετρο $<1\mu\text{m}$ και $<0,1$ (**ultrafines**).
- **PM_{10-2.5}**: σωματίδια με διάμετρο 2.5 – 10 μm (**coarse**)
- Αριθμός σωματιδίων
- Στοιχειακός άνθρακας

Diameter of human hair
(for scale) : 60 μm



Ισχύοντα όρια για τα σωματίδια

- Ε.Ε. PM_{10} (24ωρο) $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ και ετήσιο $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ με στόχο αντίστοιχα το 2010. Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη οδηγία, από τις υπερβάσεις αφαιρούνται αυτές που οφείλονται σε σωματίδια «φυσικής προέλευσης».
- Ε.Ε. $PM_{2.5}$ $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ετήσιο)
- U.S. E.P.A. PM_{10} (24ωρο) $150\mu\text{g}/\text{m}^3$. $PM_{2.5}$ (24ωρο) $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ και ετήσιο $15\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Πρόσφατες οδηγίες για την ποιότητα του αέρα της Π.Ο.Υ. (2005)

Ρύπος	1 ώρα ή 8ωρο	24ωρο	Ετήσια
PM ₁₀ (μg/m ³)		50	20
PM _{2.5} (μg/m ³)		25	10
Όζον (μg/m ³)	100		
NO ₂ (μg/m ³)	200		40
SO ₂ (μg/m ³)		20	

Τα πετρελαιοκίνητα οχήματα εκπέμπουν σωματίδια και συμβάλουν σε μεγάλο ποσοστό στις αυξημένες συγκεντρώσεις σωματιδίων του αέρα των πόλεων

- Το 90% των εκπεμπομένων σωματιδίων από πετρελαιοκίνητα οχήματα είναι (κατά μάζα) PM_{10} . Επίσης υπάρχουν και νανοσωματίδια ($PM_{0,1}$).
- Τα μικρότερα σωματίδια ($PM_{2,5}$ ή PM_{10}) εισχωρούν βαθύτερα στους πνεύμονες και θεωρούνται πιο επικίνδυνα για την υγεία
- Παρόλο που αντιπροσωπεύουν σχετικά μικρή αναλογία ως προς τη μάζα των σωματιδίων, αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του αριθμού των σωματιδίων
- Μεγάλο μέρος των σωματιδίων στην Αθήνα (κατά παλαιότερες εκτιμήσεις 64%) και σε άλλες Ευρωπαϊκές πόλεις εκπέμπονται από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα

- Στο κύριο σώμα του σωματιδίου, που είναι από άνθρακα και έχει σχετικά μεγάλη επιφάνεια, προσκολλώνται άλλες τοξικές περιβαλλοντικές ουσίες. Σ' αυτές περιλαμβάνονται πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs) και οξυγονωμένα παράγωγα που μπορούν να δημιουργήσουν οξειδωτικό στρες.
- Στις χημικές ουσίες που ανιχνεύονται στο diesel υπάρχουν πολλά καρκινογόνα.
- Τις εκπομπές diesel κατατάσσει η Π.Ο.Υ. (International Agency for Research on Cancer) στην κατηγορία 2A - probably carcinogenic to humans.

Έκθεση σε ρύπανση από εξατμίσεις diesel

- Στην ατμόσφαιρα των πόλεων είναι δυνατόν να υπάρχει προσδιορισμός των κυριοτέρων πηγών αλλά δεν μπορούμε να ξεχωρίσουμε τελείως την έκθεση που οφείλεται σε σωματίδια που εκπέμπονται από πετρελαιοκίνητα οχήματα.
- Σε πειραματικές μελέτες όμως, με ελεγχόμενες συνθήκες έκθεσης, είναι δυνατό να αξιολογηθούν τα σωματίδια που παράγονται από πετρελαιοκίνητα οχήματα.

Μελέτες με ελεγχόμενη έκθεση σε σωματίδια από πετρελαιοκινητήρες (diesel exhaust particles -DEP) έχουν γίνει σε πειραματόζωα και ανθρώπους

- Στις επιδράσεις που έχουν τεκμηριωθεί περιλαμβάνονται:
 - Αυξημένα επίπεδα δεικτών φλεγμονής
 - Ερεθισμός της μύτης και των οφθαλμών
 - Αλλαγές στην αναπνευστική ικανότητα
 - Περισσότερες επιδράσεις σε ασθματικούς
 - Χρόνια επίδραση στη συχνότητα συμπτωμάτων
 - Καρκινογένεση
 - Αύξηση της ευαισθησίας στα αλλεργιογόνα
 - Επιδράσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα

Από Barath et al (Particle and Fibre Toxicology 2010 7:19), Impaired vascular function after exposure to diesel exhaust generated at urban transient running conditions

- Στη μελέτη αυτή εκτέθηκαν 18 εθελοντές διαδοχικά με διπλό τυφλό τρόπο σε συγκεντρώσεις σωματιδίων από εξάτμιση πετρελαιοκίνητου οχήματος και σε φιλτραρισμένο αέρα, με ταυτόχρονη χορήγηση αγγειοδιασταλτικών.
- Η έκθεση στα σωματίδια diesel μείωνε τη αγγειοδιαστολή σε συνδυασμό με όλα τα φάρμακα που χορηγήθηκαν σε βαθμό πολύ στατιστικά σημαντικό.

Από Mills et al (Eur Heart J 32: 2660, 2011)
Combustion derived nanoparticulate induces the adverse
vascular effects of diesel exhaust inhalation

- Η μελέτη αυτή έγινε επίσης σε υγιείς εθελοντές και συμπεριέλαβε διάφορα σχήματα έκθεσης.
- Βρέθηκε ότι η εισπνοή εκπομπών από Diesel οχήματα οδηγούσε σε αύξηση της συστολικής αρτηριακής πίεσης και μείωνε την αγγειοδιαστολή.

Έκθεση σε αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια στις πόλεις. Αποτελέσματα από επιδημιολογικές μελέτες παρατήρησης.

- Από τα επιστημονικά ευρήματα των τελευταίων ετών, έχει γίνει αποδεκτό από τους επιστήμονες και τους αρμόδιους φορείς ότι τα τρέχοντα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης κυρίως από **αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια**, στην Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική (που είναι χαμηλότερα αν συγκριθούν με άλλες γεωγραφικές περιοχές και άλλες εποχές), έχουν σοβαρές δυσμενείς, άμεσες και μακροχρόνιες, επιδράσεις στην υγεία. Σ' αυτές συμπεριλαμβάνεται και αύξηση της θνησιμότητας.

Οι επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στην υγεία σχηματικά ταξινομούνται:

Σε άμεσες ή βραχυχρόνιες
και σε μακροχρόνιες

Στην πραγματικότητα υπάρχει μια χρονική συνέχεια στις επιδράσεις, αλλά οι μηχανισμοί δεν έχουν γίνει ακόμα πλήρως κατανοητοί.

Σε τι επιδράσεις στην υγεία αναφερόμαστε;

(Από την έκθεση του Ευρωπαϊκού Κέντρου Περιβάλλοντος και Υγείας της ΠΟΥ:
Quantification of the Health effects of exposure to air pollution, 2001)



Α. Βραχυχρόνιες επιδράσεις



Βραχυχρόνιες συνέπειες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία.
Αποτελέσματα από το πολυκεντρικό Ευρωπαϊκό πρόγραμμα "Air
Pollution and Health: a European Approach" (APHEA2)

	% (95% CI) αύξηση στη θνησιμότητα ανά 10μg/m ³ αύξηση στο ρύπο	
Θνησιμότητα	PM10 ή TSP	Καπνός
Όλες οι φυσικές αιτίες (APHEA2, 21 πόλεις, υστέρηση 0 and 1; Epidemiology 2001; 12: 521- 31)	0.6 (0.4-0.8)	0.6 (0.3-0.8)
Όλες οι φυσικές αιτίες (APHEA2, distributed lag models, 10 πόλεις; Epidemiology 2002; 13:87-93)	1.6 (0.4, 4.1)	
Καρδιαγγειακές αιτίες (APHEA2, 21 πόλεις, υστέρηση 0 and 1; Epidemiology 2006;17:230-3)	0.8 (0.5, 1.1)	0.6 (0.4, 0.9)
Αναπνευστικές αιτίες (APHEA2, 21 πόλεις, υστέρηση 0 and 1; Epidemiology 2006;17:230-3)	0.6 (0.2, 1.0)	0.8 (0.1, 1.6)

Percent increase in mortality risk associated with an increase of 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in PM_{10} (Pope *Inhalation Toxicology* 2007)

Short-term Effects

Study area and types	Primary sources	Percent Increase in mortality risk (95% CI)	
		All cause	Cardiovascular/ Cardiopulmonary
Meta-estimate from single-city studies Adjusted for publication bias	Anderson et al. (2005)	1.2 (1.0, 1.4) 1.0 (0.8, 1.2)	
Meta-estimates from COMEAP	COMEAP (2006)		1.8 (1.4, 2.4) ^a
U.S. 10 cities	Schwartz (2000, 2003)	1.3 (1.0, 1.6)	
U.S. 14-city case-crossover	Schwartz (2004)	0.7 (0.4, 1.0)	
NMMAPS 20-100 U.S. cities	Dominici et al. (2003)	0.4 (0.2, 0.8)	0.6 (0.3, 1.0) ^b
APHEA-2 15-29 European cities	Katsouyanni et al. (2001) Analitis et al. (2006)	1.2 (0.8, 1.4)	1.5 (0.9, 2.1) ^a

^aCardiovascular only ^bCardiovascular and respiratory deaths combined

Percent Increase in mortality risk associated with an increase of 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in $\text{PM}_{2.5}$ (Pope *Inhalation Toxicology* 2007)

Short-term Effects

Study area and types	Primary sources	Percent Increase in mortality risk (95% CI)	
		All cause	Cardiovascular/ Cardiopulmonary
Meta-estimates from COMEAP	COMEAP (2006)		1.4 (0.7, 2.2) ^a
U.S. 6 cities	Klemm and Mason (2003)	1.2 (0.8, 1.6)	1.3 (0.3, 2.4) ^c
California 9 cities	Ostro et al. (2006)	0.6 (0.2, 1.0)	0.6 (0.0, 1.1) ^a

^aCardiovascular only ^cIschemic heart disease deaths

Percent increase in mortality risk associated with particulate matter (Pope *Inhalation Toxicology* 2007)

Comparison of estimated excess risk of all cause mortality estimates for different time scales of exposure

Study area and types	Primary sources	Time scale of exposure				
		1 day	2 days	5 days	40 days	About 1 year
10 U.S. cities, time-series, distributed lag	Schwartz (2000)	1.3	2.1	2.6		
10 European cities, APHEA time-series distributed lag	Zanobetti et al. (2002)		1.4		3.3	
Dublin daily time-series, distributed lag, intervention	Goodman et al. (2004) Clancy et al. (2002)	0.8			2.2	3.2
Utah Valley, time series and intervention	Pope et al. (1992)			3.1		4.3
Harvard six cities, time-series and cohort extended analysis	Schwartz et al. (1996) Klemm and Mason (2003) Laden et al. (2006)		1.2			14

Percent Increase in mortality risk associated with particulate matter (Pope *Inhalation Toxicology* 2007)

Comparison of estimated excess risk of cause specific mortality estimates for different time scales of exposure

Study area and types	Primary sources	Cardiovascular/ cardiopulmonary					Respiratory				
		Time scale of exposure					Time scale of exposure				
		1 day	2days	20 days	40 days	1year	1 day	2 days	20 days	40 days	1year
10 European cities, APHEA, time-series distributed lag	Zanobetti et al. (2002)		1.4	2.7	4.0			1.5	3.4	8.6	
Dublin daily time-series distributed lag intervention	Goodman et al. (2004) Clancy et al. (2002)	0.8			2.2	5.7	1.8			7.2	8.7

Βραχυχρόνιες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις εισαγωγές αναπνευστικών περιστατικών στα νοσοκομεία.

(Πρόγραμμα ΑΡΗΕΑ 8 πόλεις, Atkinson et al, AJRCCM 2002; 164:1860-6)

	% (95% ΟΑ) αύξηση στο δείκτη υγείας για αύξηση 10μg/m ³ στον αντίστοιχο ρύπο	
Αιτία εισαγωγής	PM ₁₀	Καπνός
Άσθμα 0-14 ετών	1.2 (0.2, 2.3)	1.3 (0.3, 2.4)
Άσθμα 15-64 ετών	1.1 (0.3, 1.8)	0.7 (-0.3, 1.8)
ΧΑΠ+άσθμα 65+ ετών	1.0 (0.4, 1.5)	0.2 (-0.7, 1.1)
Όλες οι αναπνευστικές 65+ ετών	0.9 (0.6, 1.3)	0.1 (-0.7, 0.9)

Βραχυχρόνιες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις εισαγωγές καρδιαγγειακών περιστατικών στα νοσοκομεία.

(Πρόγραμμα ΑΡΗΕΑ 8 πόλεις, Le Tertre et al, JECH 2002; 56:773-9).

	% (95% ΟΑ) αύξηση στο δείκτη υγείας για αύξηση 10μg/m ³ στον αντίστοιχο ρύπο	
Αιτία εισαγωγής	PM ₁₀	Καπνός
Όλες οι καρδιακές	0.5 (0.2, 0.8)	1.1 (0.4, 1.8)
Όλες οι καρδιακές 65+ ετών	0.7 (0.4, 1.0)	1.3 (0.4, 2.2)
Ισχ. καρδιοπάθεια <65 ετών	0.3 (-0.2, 0.7)	0.1 (-0.4, 0.5)
Ισχ. καρδιοπάθεια 65+ ετών	0.8 (0.3, 1.2)	1.1 (0.6, 1.6)
Εγκεφαλικό 65+ ετών	0.0 (-0.3, 0.3)	0.0 (-0.7, 0.6)

- Υπάρχουν παράγοντες που χαρακτηρίζουν μια πόλη ή μια περιοχή και προσδιορίζουν τις επιδράσεις της ρύπανσης στην υγεία; Ή οι επιδράσεις ενός συγκεκριμένου επιπέδου ρύπανσης είναι ίδιες σε όλες τις πόλεις;
- Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι επιδράσεις είναι μεγαλύτερες (για την ίδια έκθεση) σε θερμότερες πόλεις, σ' εκείνες που έχουν και αυξημένες συγκεντρώσεις NO_2 και σ' εκείνες που έχουν μεγαλύτερη αναλογία ηλικιωμένων

Β. ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

- Οι μακροχρόνιες επιδράσεις είναι πιο σοβαρές.
- Δείχνουν ότι ένα άτομο που έχει ζήσει σε μια πόλη με μέσο όρο συγκέντρωσης PM_{10} κατά $10\mu g/m^3$ μεγαλύτερο από μια άλλη πόλη έχει:
 - 6% αυξημένη γενική θνησιμότητα,
 - 14% μεγαλύτερη θνησιμότητα από καρκίνο του πνεύμονα και (σημειώνεται ότι η ΠΟΥ χαρακτηρίζει τις εκπομπές diesel ως πιθανό καρκινογόνο)
 - 9% αυξημένη θνησιμότητα από καρδιοαναπνευστικά αίτια.

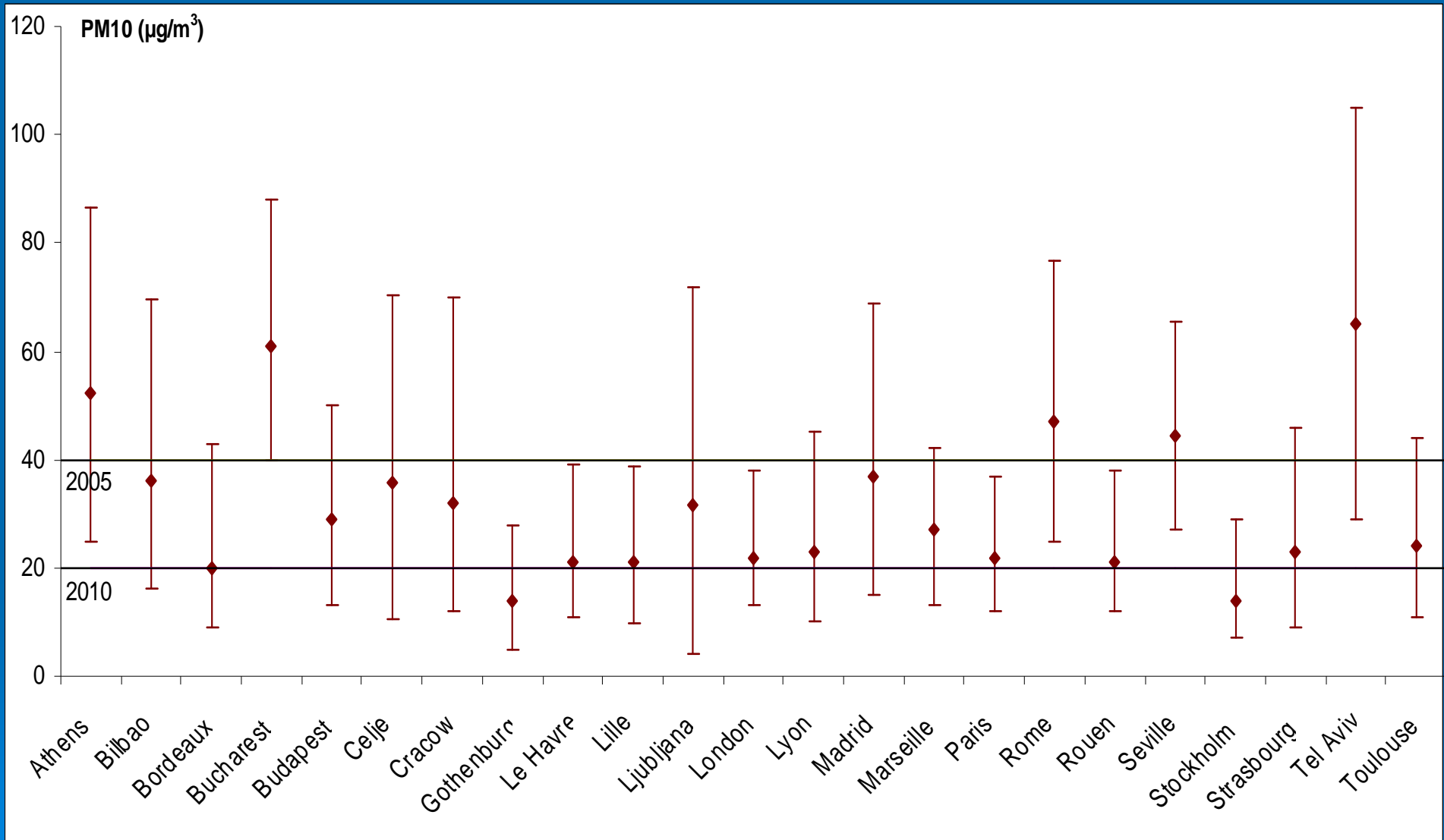
Τα οφέλη από τη μείωση των ρύπων έχουν τεκμηριωθεί

- Στο **Δουβλίνο** απαγορεύτηκε η πώληση άνθρακα το 1990 και ως αποτέλεσμα μειώθηκε η ετήσια συγκέντρωση καπνού από $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε $15\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Η ολική θνησιμότητα, καθώς και η θνησιμότητα από αναπνευστικές και καρδιαγγειακές αιτίες μειώθηκαν, ενώ την ίδια περίοδο αυξήθηκε λίγο η θνησιμότητα από τις άλλες αιτίες (Clancy et al; Lancet 2002; 360: 1210-4)

*Health Impact Assessment within the
multi-city APHEIS project
(Air Pollution and Health: A European Information System)*

**Monitoring the impact of Air Pollution on
Public Health in 26 European cities**



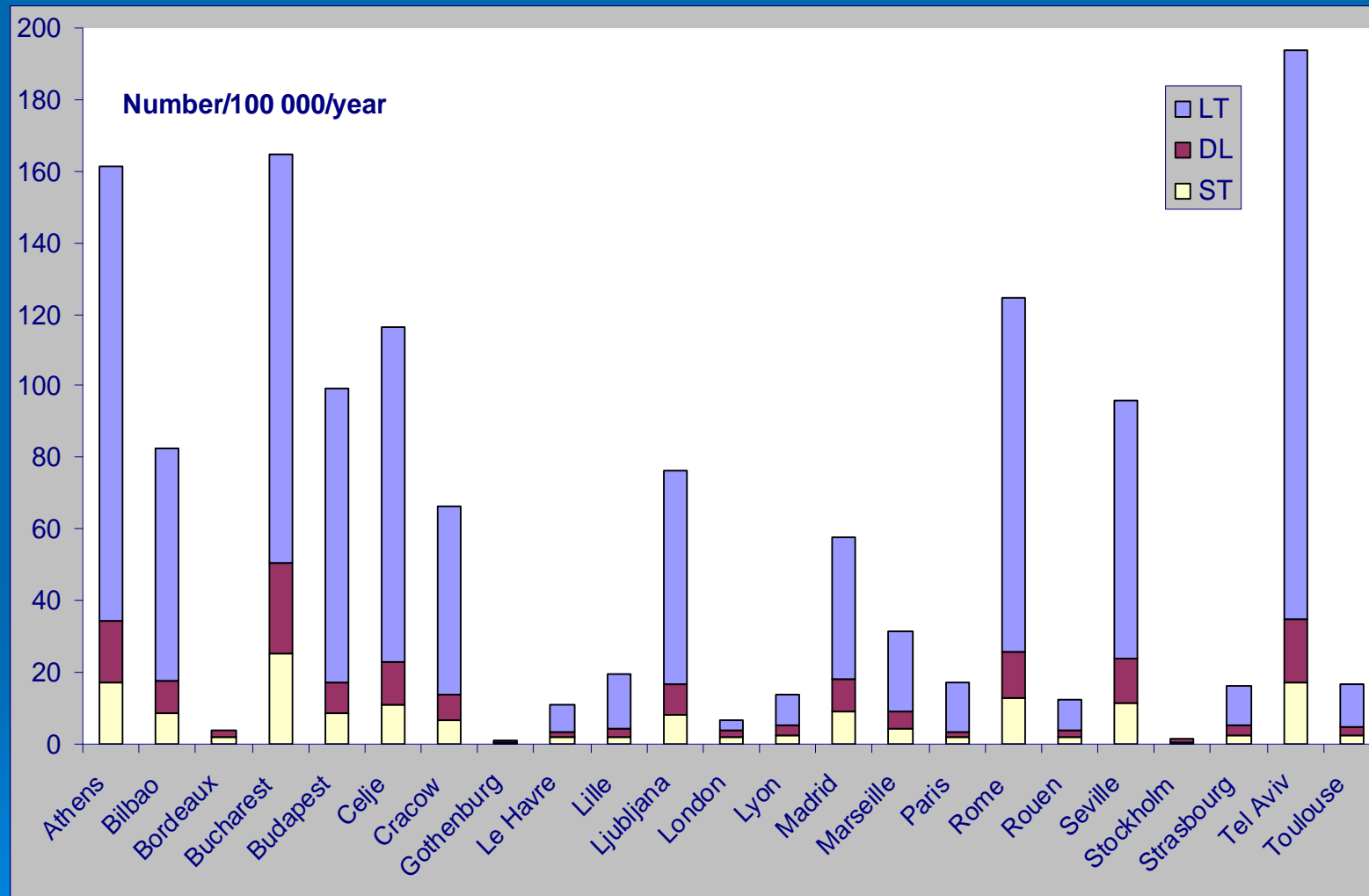


Σενάρια μείωσης των συγκεντρώσεων PM_{10}

↓ της ετήσιας μέσης τιμής PM_{10} στα $20 \mu g/m^3$ (όριο ΕΕ για το 2010) σε κάθε πόλη θα προλάμβανε **21 828** πρόωρους θανάτους ετησίως

↓ της ετήσιας μέσης τιμής PM_{10} κατά $5 \mu g/m^3$ σε κάθε πόλη θα προλάμβανε **6 143** πρόωρους θανάτους ετησίως

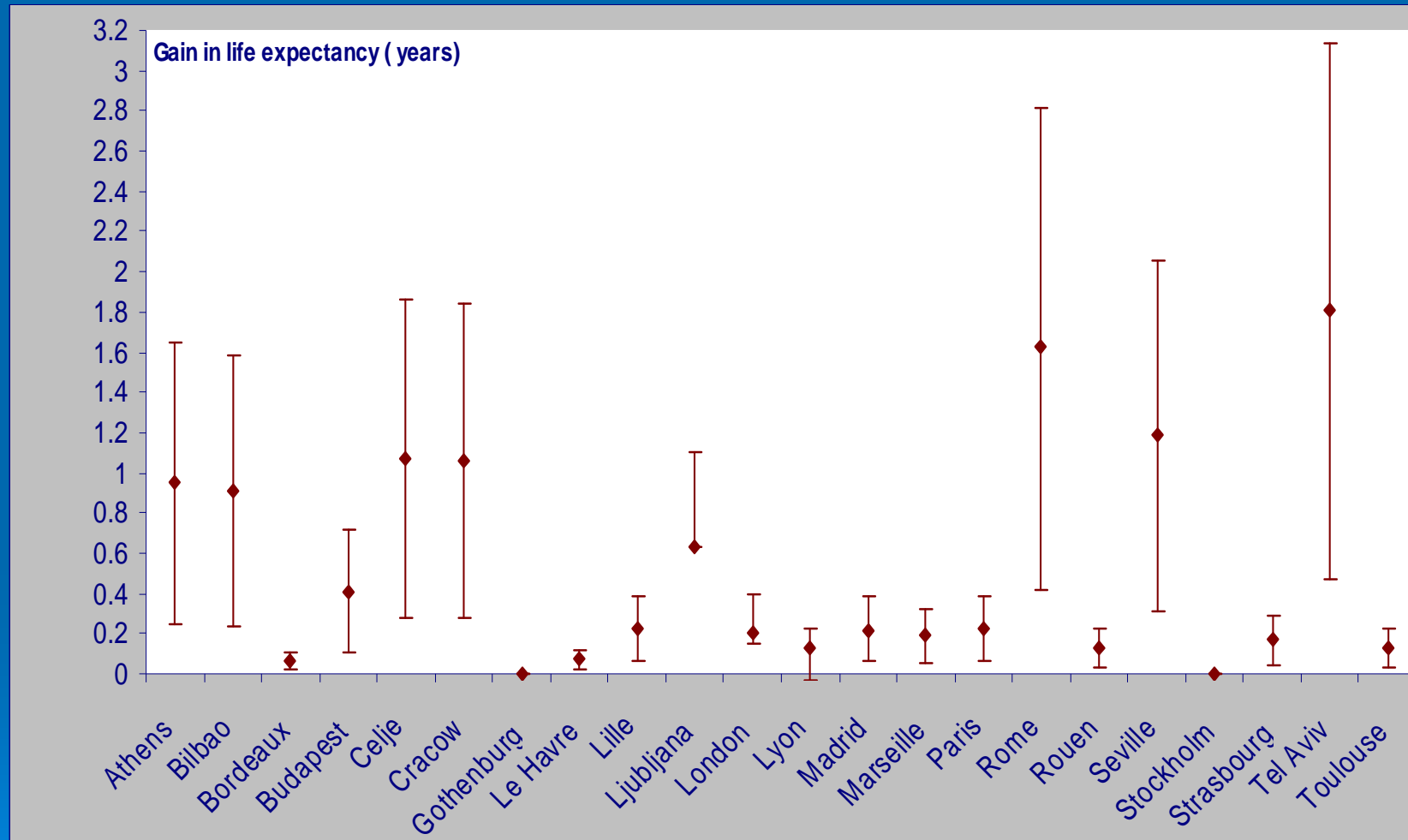
PM₁₀: Short term (ST), cumulative short-term (DL), long term (LT) health impact on all causes mortality (ICD 9 < 800). **Reductions to 20 µg/m³**. Number of deaths per 100 000 inhabitants.



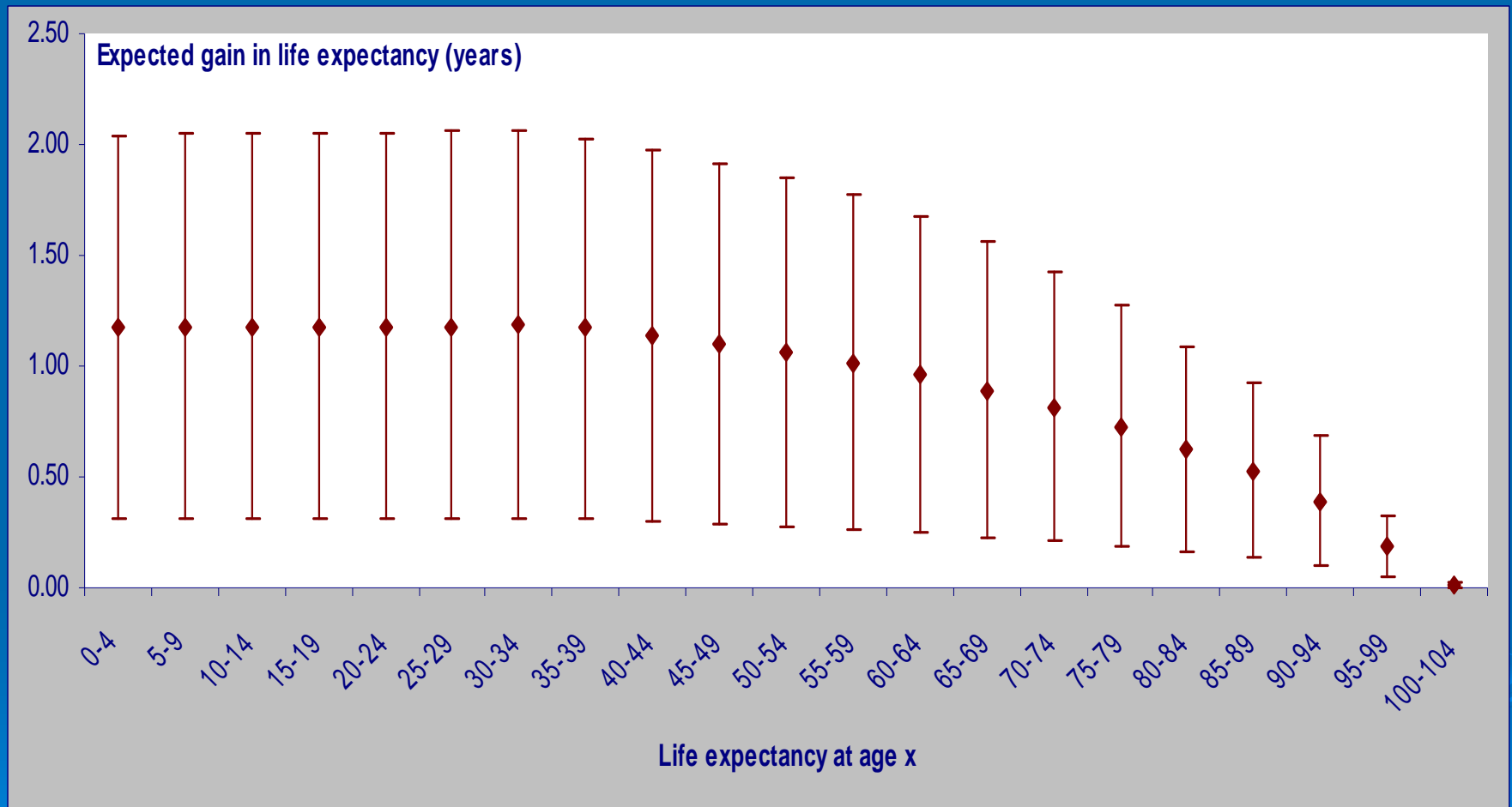
Υπολογισμός των επιδράσεων στη υγεία (Health Impact Assessment) στο πλαίσιο του Προγράμματος Clean Air For Europe (CAFÉ) <http://cafe-cba.aeat.com>

- Για την έκθεση σε σωματίδια, ο μέσος χαμένος χρόνος στο προσδόκιμο επιβίωσης το 2020 στην ΕΕ-25 θα είναι 5.5 μήνες
- Το 2020 θα χαθούν περίπου 2.5 εκατομμύρια ανθρωπο-έτη
- Αυτό ισοδυναμεί με 271,000 πρόωρους θανάτους
- Οι επιδράσεις στη νοσηρότητα περιλαμβάνουν 66,000 σοβαρές/καρδιακές εισαγωγές σε νοσοκομεία, περίπου 23 εκατομμύρια ημέρες χρήσης αναπνευστικών φαρμάκων και 200 εκατομμύρια ανθρωπο-ημέρες περιορισμένης δραστηριότητας

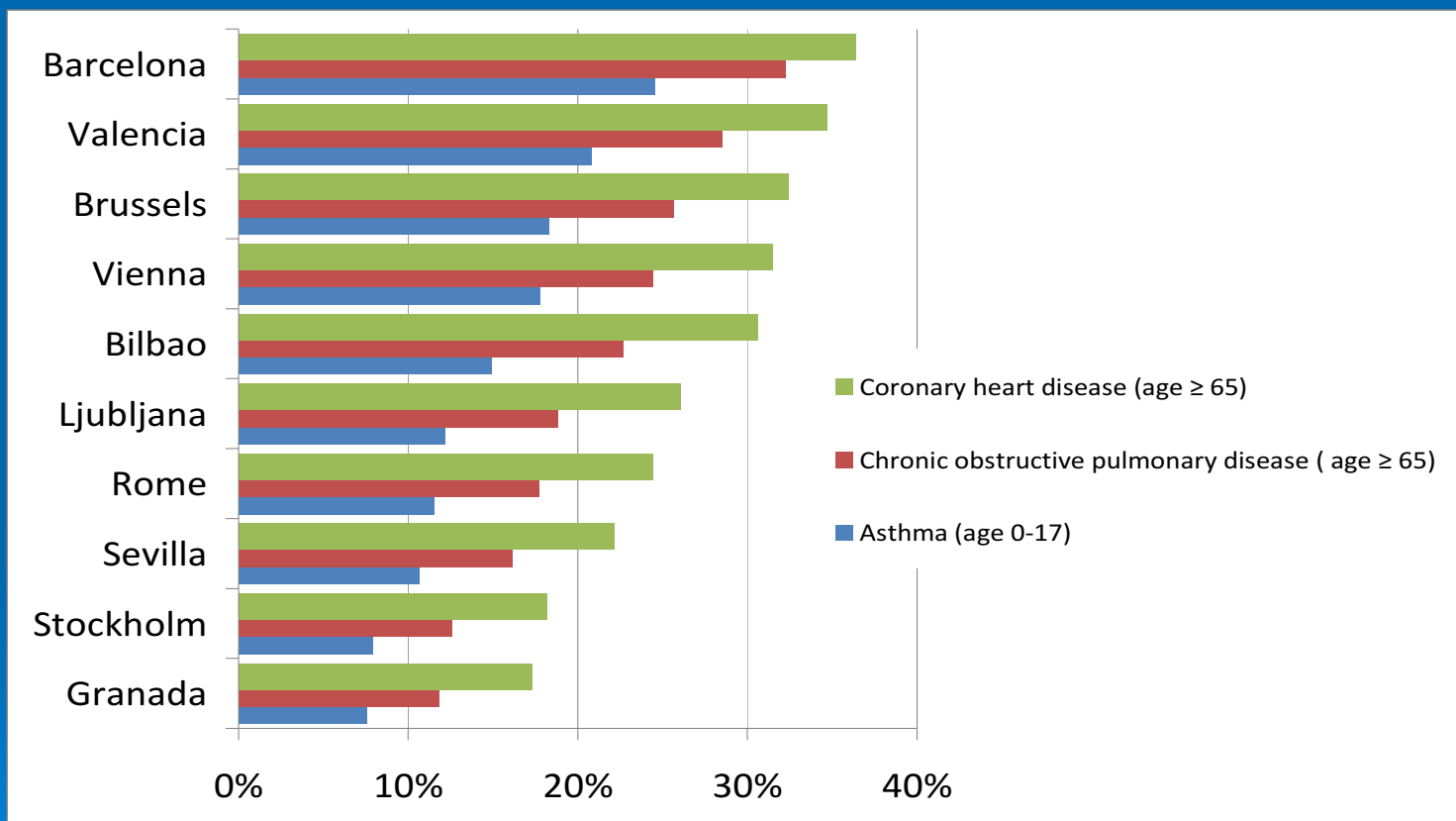
Αναμενόμενο κέρδος στο προσδόκιμο επιβίωσης στην ηλικία των 30 ετών αν η μέση ετήσια συγκέντρωση $PM_{2.5}$ μειωθεί στα $15 \mu g/m^3$



Αναμενόμενο κέρδος στο προσδόκιμο επιβίωσης αν οι τρέχουσες συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$ ($35 \mu g/m^3$) μειωνόταν στα $15 \mu g/m^3$ στη Seville



ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΡΗΕΚΟΜ: Ποσοστό πληθυσμού με χρόνιες ασθένειες των οποίων η κατάσταση μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι κατοικούν κοντά σε δρόμο με μεγάλη κίνηση σε 10 Ευρωπαϊκές πόλεις



Οι μελέτες μας λενε ότι τα σωματίδια από εκπομπές πετρελαιοκινήτων είναι επικίνδυνα, αλλά λέγεται επίσης ότι τα οχήματα των οποίων μόλις απελευθερώνεται η κυκλοφορία, είναι νέας τεχνολογίας EURO5 και δεν εκπέμπουν σωματίδια.

- Δυστυχώς αυτό είναι μόνο μερικώς ορθό.
- Από σχετικές μελέτες φαίνεται ότι η χρήση νοθευμένου καυσίμου (με πετρέλαιο θέρμανσης ή ναυτιλίας) από τους κινητήρες νέας τεχνολογίας οδηγεί σε σημαντική αύξηση των εκπομπών σωματιδίων, οξειδίων του αζώτου και υδρογοναθράκων (Mattheou et al Global NEST J 8: 291, 2006).
- Οι πετρελαιοκινητήρες νέας τεχνολογίας είναι πολύ ευαίσθητοι στις προδιαγραφές καυσίμου και η χρήση καυσίμου με αυξημένη περιεκτικότητα θείου οδηγεί σε κακή λειτουργία των παγίδων.
- Ακόμη και χωρίς νοθευμένο καύσιμο οι συνθήκες κυκλοφορίας στην πόλη έχει τεκμηριωθεί ότι οδηγούν σε μεγαλύτερες εκπομπές σε σχέση με τις προδιαγραφές.

Συμπεράσματα

- Τα αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια έχουν σημαντικές και τεκμηριωμένες επιδράσεις στην υγεία. Σ' αυτές συμπεριλαμβάνεται αύξηση της θνησιμότητας και μείωση του προσδόκιμου επιβίωσης.
- Ειδικότερα τα σωματίδια που εκπέμπονται από τους πετρελαιοκινητήρες είναι ιδιαίτερα τοξικά, με πληθώρα επιδράσεων που τεκμηριώθηκαν και πειραματικά.
- Η Αθήνα λόγω της τοπογραφίας και του κλίματος είναι ακόμη περισσότερο επιβαρυνμένη με υψηλές συγκεντρώσεις σωματιδίων. Επιπλέον οι πλημμελείς έλεγχοι στα οχήματα, η παλαιότητα του στόλου, η έλλειψη ρυθμίσεων στην κυκλοφορία των φορτηγών, η νοθεία του πετρελαίου κίνησης και η λαθρεμπορία οδηγούν σε πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις ρύπων.
- Τα πετρελαιοκίνητα οχήματα νέας τεχνολογίας δεν λειτουργούν σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους όταν το καύσιμο δεν είναι σύμφωνο με αυτές.