

**ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ, ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΕ & ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ**

Η εργασία υποβάλλεται για την μερική κάλυψη των απαιτήσεων με στόχο την
απόκτηση του διπλώματος

**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

από

**ΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ ΚΑΙ ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΜΑΡΙΑ ΑΝΔΡΟΥΤΣΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, 2004

Δήλωση

Η εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου.

Περίληψη

Το θέμα της σωματιδιακής ρύπανσης παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον αφού τα τελευταία χρόνια, πολλές έρευνες καταλήγουν στο ίδιο συμπέρασμα: ότι τα σωματίδια αυτά συντείνουν στην επιδείνωση της κατάστασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και ταυτόχρονα συμβάλλουν στην όξυνση συγκεκριμένων ασθενειών και την εμφάνιση κάποιων άλλων. Πολλά ζητήματα που αφορούν τα αιωρούμενα σωματίδια ακόμη και σήμερα τελούν υπό εξέταση όπως πχ. ο τρόπος μέτρησής τους, οι επιπτώσεις τους στην υγεία, στο περιβάλλον και κατά επέκταση η νομοθεσία και ο τρόπος διαχείρισής τους.

Στην παρούσα εργασία τίθεται ως στόχος η εξέταση των επιπέδων συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων στην Ευρώπη και στην Ελλάδα. Γίνεται αναφορά στον τρόπο συλλογής και μέτρησης των στοιχείων και των πληροφοριών για την σύνταξη νομοθεσίας και την αναθεώρηση της. Επίσης γίνεται εκτενής αναφορά στις επιπτώσεις που έχουν τα αιωρούμενα σωματίδια στο περιβάλλον και στην υγεία. Αναλύονται οι παράμετροι που συμβάλλουν στην όξυνση των επιπτώσεων που έχουν τα συγκεκριμένα σωματίδια στην υγεία. Επιπρόσθετα, περιγράφονται τα κόστη που συνεπάγεται η προσπάθεια διαχείρισης των σωματιδίων μέσω της επιβαλλόμενης νομοθεσίας και της διαθέσιμης σχετικής τεχνολογίας. Τέλος, αναφέρονται και τα αναμενόμενα οφέλη από την εναρμόνιση με την σχετική νομοθεσία αναφορικά με την υγεία και κατ'επέκταση με την οικονομία.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1.	Σκοπός της μελέτης.....	1
2.	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	2
2.1	Τι είναι Ατμοσφαιρική Ρύπανση.....	2
	<i>2.1.1 Αέριοι Ρύποι.....</i>	<i>2</i>
	<i>2.1.2 Πηγές Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.....</i>	<i>4</i>
2.2	Ιστορική Αναδρομή Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.....	6
2.3	Ιστορική Εξέλιξη Περιβαλλοντικής Πολιτικής ως Άμεσο Αποτέλεσμα των Μεγαλύτερων Επεισοδίων Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης	14
	<i>2.3.1 Ευρωπαϊκή Ένωση.....</i>	<i>14</i>
	<i>2.3.2 Μεγάλη Βρετανία.....</i>	<i>16</i>
	<i>2.3.3 ΗΠΑ.....</i>	<i>18</i>
3.	ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	22
3.1	Τι είναι Σωματιδιακή Ρύπανση.....	22
3.2	Πηγές Αιωρούμενων Σωματιδίων.....	24
	<i>3.2.1 Ανθρωπογενείς Πηγές.....</i>	<i>25</i>
	<i>3.2.2 Φυσικές Πηγές.....</i>	<i>31</i>
3.3	Τρόποι Μέτρησης Αιωρούμενων Σωματιδίων.....	35

4. ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΕ ΕΥΡΩΠΗ & ΕΛΛΑΔΑ.	38
4.1 Συγκεντρώσεις Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στις Χώρες Μέλη της ΕΕ (1990-2001).....	38
4.1.1 Παράγοντες Μείωσης Εκπομπών Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στις Χώρες Μέλη της ΕΕ (1990-2001).....	40
4.1.2 Σύσταση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στις Χώρες Μέλη της ΕΕ (1990-2001).....	42
4.2 Συγκεντρώσεις Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στις Υπό Ένταξη στην ΕΕ Χώρες (1990-2001).....	43
4.2.1 Παράγοντες Μείωσης Εκπομπών Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στις Υπό Ένταξη στην ΕΕ Χώρες (1990-2001).....	46
4.2.2 Σύσταση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στις Υπό Ένταξη στην ΕΕ Χώρες (1990-2001).....	48
4.3 Συγκεντρώσεις Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στις Χώρες Μέλη & στις υπό Ένταξη Χώρες της ΕΕ (2001-2004).....	49
4.4 Μελλοντικές Εκτιμήσεις Συγκεντρώσεων Αιωρούμενων Σωματιδίων στην ΕΕ.....	51
4.5 Συγκεντρώσεις Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στην Ελλάδα.....	57
4.5.1 Σύγκριση των συγκεντρώσεων PM μεταξύ της Ελλάδας, των Χωρών Μελών της ΕΕ και των Υπό Ένταξη Χωρών στην ΕΕ.....	61
4.5.2 Παράγοντες Αύξησης Εκπομπών Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στην Ελλάδα.....	61
4.5.3 Σύσταση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στην Ελλάδα.....	63
5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ.....	65
5.1 Επιπτώσεις στην Υγεία.....	65
5.1.1. Παράγοντες που συντελούν στο μέγεθος της επίδρασης της Σωματιδιακής Ρύπανσης στην Υγεία.....	71
5.1.1α. Παράγοντας 1: Μέγεθος Σωματιδίων.....	72

5.1.1.β. Παράγοντας 2: Χημική Σύσταση Σωματιδίων.....	74
5.1.1.γ. Παράγοντας 3: Μακροπρόθεσμη και Βραχυπρόθεσμη Έκθεση Σωματιδίων.....	77
5.1.1.δ. Παράγοντας 4: Επίπεδα Συγκέντρωσης Σωματιδίων σε συνάρτηση με τη Χρονική Διάρκεια Έκθεσης.....	81
5.2 Οικονομική Αποτίμηση Επιπτώσεων Υγείας από τη Σωματιδιακή Ρύπανση.....	85
5.2.1 Ευρωπαϊκή Ένωση.....	89
5.2.2 Ελλάδα.....	91
5.2.3 ΗΠΑ.....	91
6. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ -ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΟΦΕΛΗ.....	96
6.1 Μέτρα Αντιμετώπισης.....	96
6.1.1 Νομοθεσία.....	96
6.1.2 Τεχνολογίες.....	100
6.2 Προτάσεις για επιπρόσθετα Μέτρα.....	101
6.3 Προτάσεις για μελλοντικές Δράσεις.....	104
6.4 Υπολογισμός κόστους εφαρμογής μέτρων στην ΕΕ.....	105
6.5 Αναμενόμενα Οφέλη.....	106
6.5.1 Ευρωπαϊκή Ένωση.....	106
6.5.2 Χώρες Υπό Ένταξη στην ΕΕ.....	108
6.5.3 Ελλάδα.....	110
6.5.4 ΗΠΑ.....	112

Λίστα Γραφημάτων

Διάγραμμα 4.1: Εκπομπές PM (Πρωτογενή & Δευτερογενή) σε 15 Χώρες Μέλη της ΕΕ	σελ 39
Διάγραμμα 4.2: Μεταβολή στις Εκπομπές PM σε Χώρες Μέλη της ΕΕ, κατά το 1990-2001 (ΠΗΓΗ: ΕΕΑ/ETC-AAC, 2003)	σελ 40
Διάγραμμα 4.3: Μεταβολές (%) στις πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων PM ανά τομέα εκπομπής	σελ 41
Διάγραμμα 4.4: Οι πηγές των PM (%) στις χώρες μέλη της ΕΕ κατά το 2001 (Πηγή: ΕΕΑ/ETC-ACC, UNECE, EMEP, 2003)	σελ 42
Διάγραμμα 4.5: Η χημική σύσταση των εκπομπών των PM (%) στις χώρες μέλη της ΕΕ κατά το 2001	σελ 43
Διάγραμμα 4.6: Εκπομπές PM (Πρωτογενή & Δευτερογενή) σε 12 Χώρες Υπό Ένταξη στην ΕΕ	σελ 44
Διάγραμμα 4.7: Μεταβολή Εκπομπών PM στις Υπό Ένταξη Χώρες στην ΕΕ, κατά το 1990-2001 (ΠΗΓΗ: ΕΕΑ/ETC-AAC, 2003)	σελ 45
Διάγραμμα 4.8: Μεταβολές (%) στις πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων PM ανά τομέα εκπομπής	σελ 47
Διάγραμμα 4.9: Οι πηγές των PM (%) στις υπό ένταξη χώρες στην ΕΕ κατά το 2001 (Πηγή: ΕΕΑ/ETC-ACC, UNECE, EMEP, 2003)	σελ 48
Διάγραμμα 5.1: Συμβολή των σωματιδίων PM ₁₀ και PM _{2.5} στην αύξηση εκδήλωσης καρδιαγγειακών και αναπνευστικών ασθενειών	σελ 74
Διάγραμμα 5.2: Επίδραση από Διαφορετικές Πηγές: Επί τοις Εκατό Αλλαγή Θανάτων Ημερησίως ανά 10μg/m ³ PM _{2.5} ανάλογα με την πηγή προέλευσης κατά το διάστημα 1979 – 1988, σε έξι πόλεις, Harvard ; (Laden et al, Env Health	σελ 76

Perspect 2000; 108 (10): 941-947)

Διάγραμμα 5.3: Σχέση θνησιμότητας με αύξηση κατά **σελ 84**
10μg/m³, σε συνάρτηση με τον χρόνο

Διάγραμμα 5.4: Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων **σελ 86**
στην υγεία, το περιβάλλον και την οικονομία

Διάγραμμα 5.5: τυπική σύνθεση κόστους υγείας που **σελ 88**
προκύπτει από σωματιδιακή ρύπανση, ανά επίπτωση
(ΠΗΓΗ:Υπολογισμοί από την Παγκόσμια Τράπεζα, Lvonisky et
al)

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 2.1: Κυριότεροι Ρύποι και οι Πηγές τους	σελ 5
Πίνακας 2.2: Κυριότερα Επεισόδια Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης	σελ12
Πίνακας 4.1: Πληθυσμός που εκτίθεται σε αιωρούμενα σωματίδια σε χώρες μέλη της ΕΕ και σε χώρες υπό ένταξη στην ΕΕ. Ο πληθυσμός που εκτίθεται είναι εκφρασμένος επί τοις εκατό ο πληθυσμός που βρίσκεται εκτεθειμένος σε επίπεδα των σωματιδίων πάνω από το επιτρεπόμενο όριο.	σελ 50
Πίνακας 4.2: Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM10 (Kt), κατά το 2000 και το 2010 στις χώρες μέλη της ΕΕ	σελ 53
Πίνακας 4.3: Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM10 (Kt), κατά το 2000 και το 2010 στις χώρες υπό ένταξη στην ΕΕ	σελ 54
Πίνακας 4.4: Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM2.5 (Kt), κατά το 2000 και το 2010 στις χώρες μέλη της ΕΕ	σελ 55
Πίνακας 4.5: Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM2.5 (Kt), κατά το 2000 και το 2010 στις χώρες υπό ένταξη στην ΕΕ	σελ 56
Πίνακας 4.6: Ετήσιες μέσες συγκεντρώσεις πρωτογενών και δευτερογενών PM10 στην Ελλάδα κατά το διάστημα 1990-2004	σελ 58
Πίνακας 4.7: Πόλεις της ΕΕ με τα υψηλότερα επίπεδα PM10, ανά έτος (Πηγή: GREENPEACE, 2001)	σελ 59
Πίνακας 4.8: Μέσες Ετήσιες Συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) PM10 στην περιοχή της Αθήνας	σελ 61
Πίνακας 4.9 : Οχήματα χωρίς Ισχύουσα Κάρτα Ελέγχου Καυσαερίων	σελ 62
Πίνακας 4.10: Εκπομπές Οχημάτων Εκτός Ορίων (%)	σελ 63
Πίνακας 5.1: Οι κυριότερες επιπτώσεις στην υγεία, μετά από βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια PM10 και PM2.5	σελ 81
Πίνακας 5.2: Ποσοτικοποιημένα Κόστη Υγείας (€) που προκαλούνται από έκθεση του Ευρωπαϊκού πληθυσμού σε PM	σελ 90
Πίνακας 5.3: Ανθρώπινο Κεφάλαιο & Κόστος Θνησιμότητας	σελ 93

με βάση την ηλικία στις ΗΠΑ

Πίνακας 5.4: Ποσοτικοποιημένα Κόστη Υγείας (\$) που προκαλούνται από έκθεση του Αμερικάνικου πληθυσμού σε PM **σελ 93**

Πίνακας 6.1: Νομοθεσία ΕΕ που αφορά έμμεσα ή άμεσα τη διαχείριση αιωρούμενων σωματιδίων PM **σελ 96**

Πίνακας 6.2: Νομοθεσία ΕΕ για τα αιωρούμενα σωματίδια PM **σελ 96**

Πίνακας 6.3: Νομοθεσία ΗΠΑ για τα αιωρούμενα σωματίδια PM **σελ 99**

Πίνακας 6.4: Κόστη μέτρων που μειώνουν την εκπομπή πρωτογενών PM, για το 1995 και για το 2010. Τα κόστη αυτά περιλαμβάνουν την πλήρη εφαρμογή μέτρων στον τομέα των συγκοινωνιών, αν και επηρεάζουν εκπομπές και άλλων αερίων ρύπων εκτός των PM [Μίο €/έτος] **σελ 104**

Πίνακας 6.5: Περιπτώσεις αποφυγής θνησιμότητας ετησίως στις υπό ένταξη χώρες στην ΕΕ **σελ 107**

Πίνακας 6.6: Περιπτώσεις Αποφυγής Νοσημάτων Ετησίως & Συνεπάγοντα Κέρδη **σελ 108**

Πίνακας 6.7: Θάνατοι σχετίζονται με τη ρύπανση στην Αθήνα (ετησίως) **σελ 109**

Πίνακας 6.8: Κέρδος χρόνου ζωής στην Ελλάδα από έκθεση του πληθυσμού σε μειωμένες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων **σελ 110**

Πίνακας 6.9: οι εκτιμήσεις της RIA για τα ετήσια κέρδη λόγω των μειωμένων επιπτώσεων υγείας για το έτος 2010, που αποδίδονται στα χαμηλότερα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων (EPA, 1997b). Η θνησιμότητα καθώς και η χρόνια βρογχίτιδα είναι τα κέρδη υγείας που αφορούν το 91% με 97% του συνόλου των ποσοτικοποιημένων κερδών της υγείας **σελ 112**

Γλωσσάριο

PM

Αιωρούμενα Σωματίδια

PM10

Αιωρούμενα Σωματίδια Διαμέτρου
μικρότερης των 10 μm

PM2.5

Αιωρούμενα Σωματίδια Διαμέτρου
μικρότερης των 2.5 μm

PM1

Αιωρούμενα Σωματίδια Διαμέτρου
μικρότερης του 1 μm

Βιβλιογραφία

1. Amann Markus, *Costs and Benefits of Reduction of Particulate Matter*, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria
2. Amann, I. Bertok, J. Cofala, F. Gyarfas, C. Heyes. Z. Klimont, W. Schöpp, W. Winiwarter, *The CAFE baseline scenarios: Key findings*, IASSA, 2000
3. Bertollini *et al.*, *Environment and Health 1: Overview and Main European Issues*, WHO Regional Publications, European Series, No. 68 (World Health Organization, Copenhagen, 1996), pp. 34-38
4. Bouscaren R., C. Veldt, K.H. Zierock and B. Lübker (1987). CORINAIR project, Programme CORINE, National Experts Meeting held in Brussels, 7-8 May 1987
5. Boubel, W.R., Fox, L.D., Turner B.D., Stern C.A., (1994). *Fundamentals of Air Pollution*, Academic Press
6. CAFÉ (2003); working group on particulate matter. Draft second position paper on particulate matter, August 2003.
7. CEC, 2001. *The Clean Air for Europe (CAFE) Programme: Towards a Thematic Strategy for Air Quality*. Communication from the Commission. COM(2001)245 final, Commission of the European Communities, Brussels, Belgium.
8. Chow J.C. (1995). *Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles*. J. Air & Waste Manage. Assoc. 45, 320-382.
9. Colls J. (1997), *Air Pollution: An introduction*, E&FN Spon, London
10. Crutzen P.J. and M.O. Andreae (1990). *Biomass burning in the tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles*. Science 250, 1669-1678
11. Current Science, *Urban air pollution*, Vol. 77, No. 3, 10 August 1999
12. DEFRA, *Valuation of Health Benefits associated with reductions in air pollution*, May 2004

13. Dockery, D. W., Pope, C. A. and Xu, X. (1993) An association between air pollution and mortality in six US cities. *New England Journal for Medicine* 329: 1753-1759.
14. Douglas Dockery *et al.*, "Health Effects of Acid Aerosols on North American Children: Respiratory Symptoms," *Environmental Health Perspectives*, Vol. 104, No. 5 (1996), p. 503.
15. EEA (European Environmental Agency) (1996). *Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook, First Edition*. Vol.1-2. Copenhagen, Denmark.
16. EEA (2004a); *Air pollution in Europe 1990–2000*; Topic report No 4/2003
17. EEA (2004h); *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe*, Environmental issue report No 36
18. EEA Signals 2004 *A European Environment Agency update on selected issues*
19. EEA Topic Report No 5/2002 *Emissions of atmospheric pollutants in Europe, 1990-1999*
20. European Commission, 1996, *Air Quality Report of the Auto-Oil Programme Report of Subgroup*
21. European Commission (1996). *Communication to the Council and to the Parliament on a Future Strategy for the Control of Atmospheric Emissions from Road Transport Taking into Account the Results from the Auto Oil Program*. Brussels, Belgium.
22. European Commission (2001); *Environment 2010: Our future, our choice*, The sixth environment action programme; COM (2001) 31 final
23. ECOTEC Research and Consulting Limited, *The Benefits of Compliance with the Environmental Acquis*, July 2001
24. ECOTEC Research and Consulting Limited, *The Benefits Of Compliance With The Environmental Acquis For The Candidate Countries*, July 2001
25. ECOTEC Research and Consulting Limited, *The Benefits Of Compliance With The Environmental Acquis*, July 2001
26. Enya, Takeji *et al.*, *Environ. Sci. Technol.*, 1997, 31, 2772–2776
27. Devra Lee Davis, "Backs to the Future... Air Pollution Risks to Children", *Environmental Management, Air and Waste Management Assoc.*, Feb 2000

28. Findings of the Scientific Review Panel on the Report on Diesel Exhaust as adopted at the Panelís 22 April 1998 Meeting, California Air Resources Board, 1998, *mimeo*
29. Green, Ph.D., D.A.B.T., Michael R. Ames, Sc.D., Sarah R. Armstrong, M.S., M.S., and Edmund A.C. Crouch, Ph.D., *Quantifying the health benefits of reducing concentrations of ambient particulate matter (PM): Why we cannot do it yet*. Cambridge Environmental Inc, 2004
30. Greenpeace, (2000) *Η ρύπανση σκοτώνει – Θνησιμότητα και οικονομικό κόστος λόγω ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ελλάδα*. Έκθεση του ελληνικού γραφείου της
31. Haullet R., P. Zettwoog and J.C. Sabroux, 1977, *Sulphur dioxide discharge from Mount Etna*. Nature 268, 715-717
32. Health Effects Institute: *Particulate Air Pollution and Daily Mortality*. Replication and Validation of Selected Studies. The Phase I Report of the Particle Epidemiology Evaluation Project. Cambridge, August 1995.
33. Health Effects Institute (HEI), *Particulate Air Pollution and Daily Mortality: Replication and Validation of Selected Studies* (HEI, Cambridge, MA, 1995), p. 4.
34. Seaton A., MacNee W., Donaldson K., Godden D. (1995). *Particulate air pollution and acute health effects*. Lancet 345, 176-178.
35. Schwartz, J. (1994), “*Air Pollution and Daily Mortality: A Review and Meta-analysis*”, Environmental Research, 64, pp. 36-52.
36. Touloumi, E. Samoli, and K. Katsouyanni, “*Daily Mortality and 'Winter type' Air Pollution In Athens, Greece: A Time Series Analysis Within the APHEA Project*,” Journal of Epidemiology and Community Health, Vol. 50 (Supplement1) (April 1996), p. S47.
37. IMF (International Monetary Fund) (1997). *International Financial Statistics*. Vol. L., No.2, February 1997, Washington, USA.
38. Junge C.E. (1972). *Our knowledge of the physico-chemistry of aerosols in the undisturbed marine environment*, J. Geophys. Res. 77, 5183-5200
39. Johannes Guo, Timo Kauppinen and others (2004) *Risk of oesophageal, ovarian, testicular, kidney and bladder cancers and leukaemia among Finnish workers exposed to diesel or gasoline engine exhaust*, International Journal of Cancer, volume 111, issue 2, pages 286-292, 2004

40. Krewski, D. et al. *Re-analysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality. Health Effects Institute Special Report*, July 2000
41. Krupnick A.J. (1997). *The Economic of Environmental Health Improvements*: Background Document, Prepared for the WHO.
42. Krzyzanowski, *Health Risks Of Particulate Matter*, WHO European Centre for Environment and Health, Brussels , 6-7 March 2001
43. Löye-Pilot M.D., J.M. Martin and J.Morelli 1986, *Influence of Saharan dust on the rain acidity and atmospheric input to the Mediterranean*, Nature 321, 427-428
44. McDowell W.H., C. Gines Sanchez, C. E. Asbury and C.R. Ramos Perez, 1990, *Influence of sea salt and long range transport on precipitation chemistry at EI Verde, Puerto Rico*. Atmos. Environ. 11, 2813-2821
45. Munoz R. (1990). *Los incendios forestales en Espa.a. Ecologia*. Fuera de serie n°1. 213-223
46. *Official Journal of the European Communities*, 2002, L 242:1–15
47. Ostro B., Chestnut L. (1997). *Assessing the Health Benefits of Reducing Particulate Matter Air Pollution in the United States*, in: *Environmental Research*, Section A 76, p. 94-106.
48. Ostro, *"The Association of Air Pollution and Mortality: Examining the Case for Inference," Archives of Environmental Health*, Vol. 48, No. 5 (1993), p. 336.
49. Pavoni JL., J.E. Heer Jr. and D.J. Hagerty (1975). *Handbook of solid waste disposal. Materials and Energy recovery*. Van Nostrand Reinhold Company. New York 1975
50. Pope CA III, Schwartz J, Ransom MR (1995). *Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of US Adults*. Am. J. Crit. Care Med. 151, 669-674.
51. Pope CA et al, *Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution*, Journal of the American Medical Association, 2002, 287:1132–1141
52. Rainer Friedrich, *Workshop External Costs of Energy and Transport, Advances of the ExternE Methodology*, University of Stuttgart

53. Roda F., J. Bellot, A. Avila, A. Escarra, J. Piiiol and J. Terradas (1993) *Saharan dust and the atmospheric inputs of elements and alkalinity to Mediterranean ecosystems*, Water, Air and Soil Poll. 66, 277-288
54. United States Environmental Protection Agency (April 1995), AP42 Emission Factors, Superintendent of Documents, US Government Printing Office, Washington DC, USA
55. UNEP and WHO. 1992. *Urban air pollution in mega cities of the world*. Oxford: Blackwell
56. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Office of Air Quality Planning and Standards, *Review of National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Policy Assessment of Scientific and Technical Information*, Report No. EPA-452/R-96-013 (USEPA, Washington, D.C., 1996), pp. V-2-V-24, V-27-V-28, V-71
57. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Office of Air Quality Planning and Standards, *Review of National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Policy Assessment of Scientific and Technical Information*, Report No. EPA-452/R-96-013 (USEPA, Washington, D.C., 1996), pp. V-2-V-24
58. Warneck P. 1988, *Chemistry of the Natural Atmosphere*, Internat. Geophysics Series, Vol. 41
59. WHO. 1984. *Human exposure to suspended particulate matter and sulfate in Bombay, India*. Geneva: World Health Organization. 39 pp.
60. WHO (2003); *Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide*. Report on a World Health Organisation (WHO) Working Group. Bonn, Germany. 13–15 January 2003.
61. WHO, Air Quality Management: *Air Quality Guidelines*, Geneva, 1999
62. WHO, Regional Office for Europe, *Health Aspects of Air Pollution*, June 2004
63. WHO Regional Office for Europe, *The effects of air pollution on children's health and development: a review of the evidence. Report on a WHO working group*. Copenhagen, 2004
64. WHO Regional Office for Europe, *Health aspects of air pollution – answers to follow-up questions from CAFE. Report on a WHO working group*. Copenhagen, 2004

65. World Resources Institute, *Health Effects of Air Pollution*, 2002
66. www.amnesty.org
67. http://europa.eu.int/eurlex/pri/en/oj/dat/2002/l_242/l_24220020910en00010015.pdf
68. http://news.bbc.co.uk/2/hi/south_asia/4010511.stm

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από τα αιωρούμενα σωματίδια PM10 και PM2.5. Το θέμα της σωματιδιακής ρύπανσης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον αφού τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν προσδιοριστεί επιστημονικά τα τελευταία χρόνια, συγκεκριμένα μετά το 1997 και κατά συνέπεια υπάρχουν ακόμα πολλά ζητήματα αναφορικά με τους ρύπους αυτούς που μπορεί να διερευνηθούν. Τέτοια ζητήματα που ακόμη και σήμερα τελούν μέχρι ενός σημείου υπό εξέταση αποτελούν ο τρόπος μέτρησής τους, οι επιπτώσεις τους στην υγεία, στο περιβάλλον και κατά επέκταση η νομοθεσία και ο τρόπος διαχείρισής τους.

Η εργασία αυτή έχει ως σκοπό τη διερεύνηση των ζητημάτων αυτών. Δηλαδή προσδιορίζεται τί είναι σωματιδιακή ρύπανση και ποιες είναι οι κύριες πηγές της, σε τί βαθμό συμβάλει η κάθε πηγή στην πρόκληση αυτού του τύπου ρύπανσης. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στο τρόπο μέτρησης των σωματιδιακών ρύπων και στα επίπεδα συγκέντρωσης τους σε Ευρωπαϊκό επίπεδο από το 1997, που έγινε αντιληπτή η παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων, μέχρι και σήμερα. Εκτενής αναφορά γίνεται στις επιπτώσεις που έχουν διαπιστωθεί αλλά και ερευνώνται στην ανθρώπινη υγεία. Τέλος, περιγράφονται οι προσπάθειες που καταβάλλονται για τον περιορισμό του φαινομένου καθώς και τα ενδεχόμενα κόστη και οφέλη από την πράξη αυτή.

2.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ευρύς και ως όρος αφού αφορά και χημικούς και βιολογικούς παράγοντες που τροποποιούν τα φυσικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας. Κάποιοι ορισμοί περιλαμβάνουν φυσικές διαταραχές όπως την ηχορύπανση, την ζέστη, την ακτινοβολία ως αέρια ρύπανση. Κάποιοι άλλοι ορισμοί καθιστούν ως βασική προϋπόθεση αέριας ρύπανσης κάποια καταστροφική συνέπεια. Οι ορισμοί αυτοί είναι ιδιαίτερα ευρείς και γενικοί γι αυτό και στην παρούσα εργασία η ρύπανση την οποία διαπραγματευόμαστε αφορά στις ουσίες σε στερεή, υγρή ή αέρια μορφή που εκπέμπονται στον αέρα από σταθερές και κινητές πηγές.

2.1.1 Αέριοι Ρύποι

Οι σημαντικότεροι αέριοι ρύποι οι οποίοι χρησιμοποιούνται συνήθως και ως κριτήρια για τον καθορισμό της ποιότητας της ατμόσφαιρας, δηλαδή ως δείκτες της ποιότητας του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Κι αυτό γιατί μετά από σειρά ερευνών αποδείχθηκε

ότι η εκπομπή συγκεκριμένων ρύπων έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον. Κατά συνέπεια, οι δείκτες αέριας ρύπανσης είναι οι εξής:

- **Διοξείδιο του θείου, SO₂**
- **Οξείδια του αζώτου, NO_x**
- **Αιωρούμενα Σωματίδια, PM**
- **Όζον, O₃**
- **Μονοξείδιο του άνθρακα, CO**
- **Μόλυβδος, Pb**
- **Πτητικές Οργανικές Ενώσεις, VOCs**
- **Χλωροφθοράνθρακες, CFCs**

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι διακρίνονται σε:

- **πρωτογενείς**, όταν εκπέμπονται απευθείας από μία δεδομένη πηγή στον ατμοσφαιρικό αέρα. Παράδειγμα πρωτογενούς ρύπου είναι το CO, ως υποπροϊόν ατελούς καύσης
- **δευτερογενείς**, όταν σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από πρωτογενείς ρύπους μέσω χημικών αντιδράσεων, είτε μεταξύ τους με φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας και με καταλυτική δράση της ακτινοβολίας ή της υγρασίας ή της θερμοκρασίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα δευτερογενούς ρύπου είναι ο σχηματισμός όζοντος.

Όλοι οι αέριοι ρύποι έχουν συγκεκριμένες πηγές εκπομπής. Κάθε ρύπος επιδρά σε τοπικό επίπεδο ή μπορεί να επηρεάζει το περιβάλλον και σε μεγαλύτερες αποστάσεις από την πηγή εκπομπής τους. Επίσης κάθε ρύπος έχει κάποιο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα, μικρότερο ή μεγαλύτερο. Και βέβαια, κάθε ρύπος έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, πολύ δραστικές ή όχι. Ας εξετάσουμε λοιπόν τον κάθε ρύπο ανάλογα με τις πηγές προέλευσής του, τον τρόπο εκπομπής, τον χρόνο

παραμονής, τον τρόπο μέτρησης και καταγραφής του αλλά και τις επιπτώσεις του στην ανθρώπινη υγεία και τέλος την νομοθεσία και την πολιτική αντιμετώπισης των αρνητικών συνεπειών που επιφέρει.

2.1.2. Πηγές Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

Οι πηγές αέριας ρύπανσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- **ανθρωπογενείς πηγές**
- **φυσικές πηγές**

Αντίθετα με την κοινή αντίληψη, το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων προέρχεται από **καθαρά φυσικές πηγές**. Με τον όρο φυσικές πηγές αναφερόμαστε στις πηγές εκπομπών αερίων ρύπων που δεν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρ' όλα αυτά οι **ανθρωπογενείς εκπομπές** είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίσθηκαν. Αυτό οφείλεται βεβαίως στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας αλλά επίσης και στην μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς εκπομπές οι οποίες συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες). Αντίθετα, η καλή διασπορά των φυσικών πηγών ανά την υφήλιο προσφέρει τη δυνατότητα καλύτερης ανάμιξης των ρύπων με τον καθαρό αέρα. Κατά συνέπεια, με κάποιες μικρές εξαιρέσεις, οι εκπομπές αερίων ρύπων από φυσικές πηγές από μόνες τους δεν οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Οι σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι:

- Τα **ηφαίστεια** (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο)
- Οι **πυρκαγιές δασών** (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα)
- Οι **ωκεανοί** και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις (κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα)
- **Βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων** (κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο)
- Η **αποσάθρωση του εδάφους** (αιωρούμενα σωματίδια)
- Τα **φυτά** και τα **δέντρα** (κυρίως υδρογονάνθρακες)

Οι κυριότερες **ανθρωπογενείς πηγές** είναι:

- **Βιομηχανικές πηγές (καύσεις, επεξεργασία)**
- **Παραγωγή και μεταφορά ενέργειας**
- **Μεταφορές - οχήματα**
- **Κεντρική θέρμανση**

Στον Πίνακα I που ακολουθεί αναφέρονται όλοι οι κύριοι ατμοσφαιρικοί ρύποι με τις βασικότερες πηγές τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: Κυριότεροι Ρύποι και οι Πηγές τους

Ρύπος	Πηγές
Αιωρούμενα Σωματίδια PM	Καύσιμα κυρίως από κινητήρες diesel, κατασκευές, καύση κλπ
Διοξείδιο του θείου SO ₂	Βιομηχανική παραγωγή, εκπομπές από τροχοφόρα
Οξείδια του αζώτου NO _x	Εκπομπές από τροχοφόρα, παραγωγή ενέργειας, λέβητες θέρμανσης
Όζον	Φωτοχημική αντίδραση μεταξύ οξειδίων αζώτου και ενεργών H/C όπως οι VOCs
Τοξικοί H/C	Βιομηχανικές πρακτικές (περιλαμβάνοντας διαλύτες κλπ), εκπομπές από τροχοφόρα
Αέρια του θερμοκηπίου	Βιομηχανικές καύσεις, εκπομπές από τροχοφόρα

Η ατμοσφαιρική ρύπανση μιας περιοχής καθορίζεται από τρεις βασικούς παράγοντες :

- τις πηγές ρύπανσης
- τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή
- τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Οι διάφοροι πιθανοί συνδυασμοί των προαναφερόμενων τριών παραγόντων σε κάθε περιοχή, μπορούν είτε να ευνοούν τη συσσώρευση ρύπων, είτε να προκαλούν το φυσικοχημικό μετασχηματισμό των ρύπων στην ατμόσφαιρα δημιουργώντας νέους ρύπους, είτε να συμβάλλουν στην απομάκρυνση των ρύπων.

2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΑΕΡΙΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η περιβαλλοντική ρύπανση και ειδικότερα η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν αποτελούν νέο φαινόμενο. Ένας από τους λόγους που ανάγκαζαν τις πρώτες φυλές σε νομαδική

ζωή ήταν η ανάγκη να απομακρύνονται περιοδικά από την δυσοσμία την οποία δημιουργούσαν τα απόβλητα των ζώων και των ανθρώπων. Η ανακάλυψη της φωτιάς δημιούργησε πρόσθετα προβλήματα γεμίζοντας τον αέρα στις κατοικημένες περιοχές με προϊόντα ατελούς καύσης. Η ανακάλυψη της καμινάδας μετατόπισε το πρόβλημα προς την ευρύτερη περιοχή και είχε σαν αποτέλεσμα η ατμόσφαιρα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές να είναι καπνώδης. Χαρακτηριστική είναι η αναφορά του Ρωμαίου φιλόσοφου Σενέκα το **61 μ.Χ.** στην κακή ποιότητα του αέρα στην **Ρώμη**.

Αναφορές από τον Μεσαίωνα περιγράφουν τα προβλήματα καπνού που δημιουργούσε η καύση του άνθρακα. Η ατμόσφαιρα των αστικών περιοχών της Μεγάλης Βρετανίας χαρακτηριζόταν από μεγάλες ποσότητες καπνού και θειούχων ενώσεων που προέρχονταν από τις καμινάδες με αποτέλεσμα ο Βασιλιάς Εδουάρδος ο 1^{ος} να απαγορεύσει το **1307** τη χρήση του άνθρακα στις ασβεστοκάμινους του **Λονδίνου**.

Το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης τέθηκε πρώτη φορά ως σημαντικότερο πρόβλημα κατά την **Βιομηχανική Επανάσταση**. Η ατμοσφαιρική ρύπανση παρουσιάστηκε όπως είναι αναμενόμενο αρχικά σε χώρες με έντονους ρυθμούς βιομηχανικής ανάπτυξης. Η Βιομηχανική Επανάσταση σε πρώτη φάση τον **18^ο** βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό στη χρήση του άνθρακα και σε μικρότερο βαθμό σε αυτήν του πετρελαίου για την παραγωγή ενέργειας με αποτέλεσμα να προκύψουν πολύ μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα από τα προϊόντα της παραγωγής ενέργειας όπως ήταν ο καπνός και η στάχτη. Οι βιομηχανίες ήταν τοποθετημένες σε πόλεις ή κοντά σε κατοικημένες περιοχές και σε συνδυασμό με την καύση του άνθρακα για την παραγωγή θερμότητας στις κοντινές περιοχές η ατμοσφαιρική ρύπανση έφτασε γρήγορα σε πολύ υψηλά επίπεδα. Μάλιστα όταν τα πολύ υψηλά επίπεδα ρύπανσης συνέπεφταν με

συνθήκες ομίχλης (fog), σχηματίζονταν ένα μίγμα σκόνης – “**smoke**” - και καπνού - “**smog**”-. Το αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου έγινε εμφανές σε σύντομο χρονικό διάστημα στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Έτσι, το διάστημα **1900-1925** το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εντάθηκε ως αποτέλεσμα της αστικής, τεχνολογικής και βιομηχανικής ανάπτυξης. Παρόλα αυτά δεν προστέθηκαν πληροφορίες σχετικά με τις πηγές του προβλήματος ή οποιοσδήποτε άλλες πληροφορίες που θα βοηθούσαν στην κατανόηση του φαινομένου και κατά συνέπεια στην αντιμετώπισή του. Αυτό συνεπαγόταν και την απουσία οποιασδήποτε ενέργειας με στόχο την καταπολέμηση του προβλήματος. Άλλωστε μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1950, η ρύπανση εκλαμβανόταν ως το αναγκαστικό κόστος που συνεπαγόταν η βιομηχανική και κατά επέκταση η οικονομική ανάπτυξη.

Το Δεκέμβριο του **1930** στην Κοιλάδα του **Meuse** στο **Βέλγιο** παρατηρήθηκε μία πυκνή ομίχλη ρύπανσης σε περιοχή με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα. Πιο συγκεκριμένα, στην Κοιλάδα έκτασης 15 μιλίων συγκεντρώθηκαν ρύποι οι οποίοι εκέμπονταν από εργοστάσια γυαλιού, χυτήρια μολύβδου, ασβεστοκάμινους, χαλυβουργεία, υψικαμίνους, χυτήρια ψευδαργύρου. Σε διάστημα μόλις τεσσάρων ημερών 63 θάνατοι αποδόθηκαν στην ρύπανση (10 φορές περισσότεροι από το φυσιολογικό) και 600 περίπου άτομα υπέφεραν από προβλήματα που παρουσιάστηκαν στο αναπνευστικό τους σύστημα. Ειδικότερα, συγκεκριμένες ομάδες ανθρώπων όπως ηλικιωμένοι, παιδιά και άτομα που είχαν χρόνια καρδιακά προβλήματα εκτέθηκαν σε μεγαλύτερο κίνδυνο. Τα επίπεδα ρύπανσης ήταν αυξημένα κατά την διάρκεια του συγκεκριμένου επεισοδίου και ιδιαίτερα τα επίπεδα των θειούχων ενώσεων.

Και στις ΗΠΑ η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα πήρε φθίνουσα πορεία αμέσως μετά την Βιομηχανική Επανάσταση. Πιο συγκεκριμένα στην πόλη της **Donora** της **Pennsylvania** τον Οκτώβρη του **1948** κατά την διάρκεια ενός τετραήμερου επεισοδίου ρύπανσης, από 26 μέχρι 31 Οκτώβρη, σημειώθηκαν 20 θάνατοι και 6.000 ασθένησαν (**Devra Lee Davis**, *“Bucks to the Future... Air Pollution Risks to Children”*, Environmental Management, Air and Waste Management Assoc., Feb 2000). Το περιστατικό συνέβη κάτω από παρόμοιες συνθήκες αναστροφής θερμοκρασίας, σε περιοχή με σημαντική βιομηχανική δραστηριότητα. Υψηλές εκπομπές ρύπων από ένα μεγάλο αριθμό βιομηχανιών, όπως μονάδα παραγωγής χυτήρια ψευδαργύρου, χαλυβουργείο, συγκεντρώθηκαν σε μία κοιλάδα και κάτω από συνθήκες αναστροφής θερμοκρασίας σχημάτισαν ένα μίγμα ρύπανσης και ομίχλης, το λεγόμενο smog, το οποίο ήταν πολύ δύσκολα εσπνεύσιμο. Ο ρύπος παρέμεινε στην ατμόσφαιρα πέντε ημέρες μέχρι που ο άνεμος τον παρέσυρε μακριά. Για να εκτιμηθεί σωστά το μέγεθος της καταστροφής που προκλήθηκε, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι ο πληθυσμός της πόλης ήταν μόλις 14.000 κάτοικοι, δηλαδή το 40% του πληθυσμού της πόλης ασθένησε. Μετά από τα συγκεκριμένα αποτελέσματα αποφασίστηκε η διακοπή λειτουργίας του εργοστασίου. Θεωρείται ότι αν το επεισόδιο διαρκούσε μία ακόμη ημέρα οι νεκροί θα ήταν 1000 αντί για 20, με βάση τις εκτιμήσεις του γιατρού William Rongaus. Μία δεκαετία μετά το περιστατικό ο ρυθμός θνησιμότητας στην Donora παραμένει υψηλότερος από τον αντίστοιχο βαθμό σε όμορες περιοχές. Το δραματικό αυτό γεγονός αποτέλεσε μία από τις ισχυρές αποδείξεις – στοιχεία ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να είναι φονική. Το επεισόδιο ρύπανσης στη Donora αποτέλεσε την κινητήρια δύναμη για τη δημιουργία του **Air Pollution Control Act** το **1955**, του **Clean Air Act** το **1963** αλλά και για τη σύσταση και λειτουργία της **Environmental Protection Agency**.

Το πιο σημαντικό και γνωστό επεισόδιο ρύπανσης που έχει καταγραφεί λόγω της εκτεταμένης δράσης του και των καταστροφικών συνεπειών του προκλήθηκε στις 5-8 Δεκεμβρίου του **1952** στο **Λονδίνο** της **Μεγάλης Βρετανίας**. Το επεισόδιο αυτό είναι ευρέως γνωστό και ως **“The London Fog”**. Η αναστροφή θερμοκρασίας σε συνδυασμό με υψηλά επίπεδα ρύπανσης οδήγησε σε 4000 θανάτους κατά τη διάρκεια του επεισοδίου και σε 8000 επιπλέον θανάτους τους ακόλουθους μήνες γεγονός που αποδείκνυε τη συσσωρευτική επίπτωση της έκθεσης σε υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το επεισόδιο δημιουργήθηκε κάτω από τις εξής συνθήκες: οι καθημερινές θερμοκρασίες ήταν κάτω από τις μέσες αντίστοιχες θερμοκρασίες της εποχής, και οι εκπομπές προέρχονταν από βιομηχανίες και τζάκια. Οι εκπομπές ρύπων έρχονταν σε επαφή με τον πυκνό αέρα της ατμόσφαιρας και σχημάτιζαν πυκνή ομίχλη. Υπό τις ανάστροφες αυτές συνθήκες οι ρύποι έφταναν σε πολύ υψηλά επίπεδα. Η ομίχλη αυτή διαλύθηκε τελικά αφήνοντας όμως πίσω καταστρεπτικές συνέπειες. Όπως και στο επεισόδιο της Donora των ΗΠΑ οι ηλικιωμένοι, τα παιδιά και όσοι έπασχαν από χρόνια αναπνευστικά προβλήματα ήταν εκτεθειμένοι σε μεγαλύτερο κίνδυνο υγείας από τον υπόλοιπο πληθυσμό.



Εικόνα 1 Αέρια Ρύπανση στο Harlesden του Λονδίνου. Η φωτογραφία έχει ληφθεί από το **Central Middlesex Hospital**. Χειμώνας του **1952**.

Αν και έχει καταγραφεί μεγάλος αριθμός περιστατικών υψηλών επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τα τρία διαδοχικά προαναφερόμενα επεισόδια είναι αυτά που μελετήθηκαν εκτεταμένα και επιβεβαίωσαν τις υποψίες σχετικά με το πόσο αλληλένδετα είναι τα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης με τις επιπτώσεις στην υγεία. Κι αυτό γιατί τα συγκεκριμένα επεισόδια παρείχαν τις πρώτες ισχυρές και χαρακτηριστικές ενδείξεις των επιπτώσεων που μπορεί να έχουν τα υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Κατά τις επόμενες δεκαετίες εξακολούθησαν να σημειώνονται με μεγάλη συχνότητα επεισόδια ρύπανσης σε παγκόσμιο επίπεδο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί κατά την δεκαετία του **1960** η Νέα Υόρκη όπου είχε πολλά επεισόδια ρύπανσης. Στην ίδια δεκαετία αλλά και στην επόμενη στο **Los Angeles** συμβαίνουν επίσης πολλά επεισόδια ρύπανσης ως αποτέλεσμα της βιομηχανικής επανάστασης και της μεγάλης χρήσης τροχοφόρων.

Όμως ίσως το μεγαλύτερο και πιο καταστροφικό επεισόδιο ρύπανσης όλων των εποχών έλαβε χώρα στο εργοστάσιο **Bhopal** στην Ινδία το **1984**. Αρκετές χιλιάδες άνθρωποι πέθαναν κατά και μετά τη βιομηχανική καταστροφή της 3ης Δεκεμβρίου του 1984, όταν γύρω στις 00.30 τοπική ώρα, σχεδόν 40 τόνοι τοξικών αερίων διέρρευσαν από το εργοστάσιο παραγωγής φυτοφαρμάκων του Bhopal, ιδιοκτησίας της αμερικανικής εταιρείας **Union Carbide (UCC)** που έκτοτε αγοράστηκε από την εταιρεία Dow Chemical. Η Διεθνής Αμνηστία τονίζει ότι 7.000 με 10.000 άνθρωποι πέθαναν στις αμέσως επόμενες τρεις ημέρες μετά την καταστροφή και ότι τελικά ο απολογισμός των νεκρών ανέρχεται στους 22.000, ενώ 100.000 πάσχουν από χρόνια νόσο εξαιτίας της καταστροφής. Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία, περισσότεροι από 7.000 άνθρωποι

βρήκαν ακαριαίο θάνατο, ενώ σύμφωνα με τις ενώσεις προστασίας των θυμάτων και των οικογενειών τους άλλοι 15.000 πέθαναν από το 1984 έως σήμερα. Το Νοέμβριο του 2004 μετά από έρευνα του Βρετανικού BBC προέκυψε ότι η μόλυνση είναι ακόμη ενεργή (http://news.bbc.co.uk/2/hi/south_asia/4010511.stm). Στην έκθεση της, η Διεθνής Αμνηστία αποκαλύπτει ότι ο χώρος του εργοστασίου είναι ακόμα σοβαρά μολυσμένος από ραδιενέργεια και δηλητηριάζει τα αποθέματα νερού της περιοχής. «Ο χώρος του εργοστασίου δεν έχει καθαριστεί, οπότε τα τοξικά κατάλοιπα συνεχίζουν να μολύνουν το νερό στο οποίο βασίζονται οι γύρω κοινότητες» σημειώνει η οργάνωση για την προστασία των ανθρωπίνων δικαιωμάτων (www.amnesty.org).



Εικόνα 2 Εργοστάσιο Bhopal 1984

Συμπερασματικά, λαμβάνοντας υπόψη τα περιστατικά που προαναφέρθηκαν στην Ευρώπη αλλά και στις ΗΠΑ το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δεν μπορεί να θεωρηθεί αποκλειστικό «προνόμιο» της σύγχρονης εποχής. Η χρονική σειρά των σημαντικότερων επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, σε παγκόσμια κλίμακα, συμπεριλαμβανομένων και των προαναφερόμενων συνοψίζονται στον Πίνακα 2.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2 : Κυριότερα Επεισόδια Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ
1873	Λονδίνο, Μεγάλη Βρετανία	

	268 θάνατοι ή 700	
1930	Meuse Valley Βέλγιο Ομίχλη (fog) 3 ημερών, 60 θάνατοι 600 ασθένησαν	
1931	Manchester, Μεγάλη Βρετανία, Ομίχλη 9 ημερών 592 θάνατοι	
1948	Donora, ΗΠΑ Μακροπρόθεσμες επιδημιολογικές επιπτώσεις παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια παρατεταμένης ομίχλης 20 θάνατοι επιπλέον των αναμενόμενων σε 12 ώρες 1000 ασθένησαν	
1952	Λονδίνο, Μεγάλη Βρετανία Δεκέμβριος 4-8, 4000 θάνατοι	Οδήγησε στη θέσπιση του «Πράξη για Καθαρό Αέρα» το 1956 56 φορές υψηλότερες τιμές από τις τιμές που επικρατούσαν την εποχή εκείνη
1956	Λονδίνο, Μεγάλη Βρετανία 1000 θάνατοι	
1963	Νέα Υόρκη, Η.Π.Α 405 επιπλέον θάνατοι	
1966	Νέα Υόρκη, Η.Π.Α 168 επιπλέον θάνατοι	
1984	Bhopal, Ινδία 10.000 θάνατοι 300.000 τραυματίες	Οδήγησε στη θέσπιση νομοθεσίας στις τοξικές ουσίες στην πολιτεία της California αλλά τέθηκε και θέμα ασφάλειας εργασίας στις χημικές βιομηχανίες
1991	Λονδίνο, 12/12-15/12 Μεγάλη Βρετανία Υψηλά επίπεδα NO ₂ για 4 μέρες 160 πλεονάζοντες θάνατοι	Τα υψηλότερα επίπεδα που παρατηρήθηκαν από τις αρχές του 1970 που άρχισαν οι μετρήσεις (monitoring) συστηματικά

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι τα πρώτα επεισόδια αποδόθηκαν στις σημαντικές εκπομπές ρύπων από καμινάδες μικρού ύψους. Οι εκπομπές ρύπων λόγω των ατμοσφαιρικών συνθηκών που επικρατούσαν στην περιοχή εγκλωβίζονταν κοντά στο έδαφος. Έτσι, αργότερα στις αρχές του **21^{ου} αιώνα**, λόγω των αυξημένων ελέγχων στις εκπομπές ρύπων αλλά και λόγω του μεγαλύτερου πλέον ύψους των καμινάδων και της διαχείρισης της ρύπανσης σπάνια συναντάμε σε ανεπτυγμένες χώρες τα επίπεδα ρύπανσης που συναντήσαμε τα παλαιότερα χρόνια. Επίσης προκύπτει το συμπέρασμα ότι μέχρι και τις αρχές του 1800 τα προβλήματα αέριας ρύπανσης εντοπιζόταν κατά κύριο λόγο στο διοξείδιο του θείου που εκπέμπονταν σε μεγαλύτερο βαθμό από την βιομηχανία και από τους καυστήρες οικιακής θέρμανσης. Στα επόμενα χρόνια, ο μεταφορικός τομέας ήταν αυτός που έπαιζε πρωταρχικό ρόλο στην δημιουργία αέριας ρύπανσης αφού αποτελούσε την κύρια πηγή των αέριων ρύπων. Έτσι, σε νεότερα σημαντικά επεισόδια ρύπανσης όπως αυτό που συνέβη το 1991 στο Λονδίνο, αποδίδονται σε εκπομπές τροχοφόρων. Το επεισόδιο αυτό επέφερε τον πρόωρο θάνατο 170 ανθρώπων.

Όλα αυτά τα επεισόδια που συνέβησαν τις προηγούμενες δεκαετίες και οι επιπτώσεις που επέφεραν, υπογραμμίζουν το μέγεθος του προβλήματος και την επιτακτική ανάγκη ελέγχου της ποιότητας του αέρα που αναπνέουμε. Η θέσπιση σχετικής περιβαλλοντικής νομοθεσίας, μέσω της οποίας επιβάλλεται η άσκηση περιβαλλοντικής πολιτικής και διαχείρισης καθώς και η εφαρμογή φιλικότερης τεχνολογίας αποτελούν τρόπους ελέγχου της ποιότητας του αέρα και άμβλυνσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και όλων των προβλημάτων που αυτή επέφερε όπως πχ. οι επιπτώσεις στην υγεία.

2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ ΩΣ ΑΜΕΣΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΩΝ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Όπως είναι λογικό οι βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες όπως η Μεγάλη Βρετανία, η Γερμανία, οι ΗΠΑ ήταν οι πρώτες που θέσπισαν περιβαλλοντική πολιτική και περιβαλλοντική νομοθεσία και υιοθέτησαν ότι συνεπαγόταν η εφαρμογή της. Ας εξετάσουμε λοιπόν, στις προαναφερόμενες χώρες αλλά και στην Ευρωπαϊκή Ένωση, πώς δημιουργήθηκε και αναπτύχθηκε η περιβαλλοντική πολιτική.

2.3.1 Ευρωπαϊκή Ένωση

Το 1970 η Ευρωπαϊκή Ένωση εισήγαγε την πρώτη νομοθετική ρύθμιση που αφορούσε την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, θέτοντας τιμές όρια για τις αέριες εκπομπές των πετρελαιοκίνητων τροχοφόρων. Ακολούθησαν Οδηγίες σχετικά με τις εκπομπές πετρελαιοκίνητων τροχοφόρων και σε ότι αφορά την περιεκτικότητα σε θείο των υγρών καυσίμων. Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 δημιουργήθηκε ένα κλίμα ανησυχίας σε όλη την Ευρώπη σε ότι αφορά την όξινη βροχή και τις επιπτώσεις της στο οικοσύστημα. Αποτέλεσμα αυτής της ανησυχίας ήταν η θέσπιση της **Σύμβασης της Γενεύης για την Μεγάλου Εύρους Διασυνοριακή Αέρια Ρύπανση** (Geneva Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, **LRTAP**) το 1979 και συστάθηκε από την Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών (**UNECE**). Η Συνθήκη αυτή αποτέλεσε και την έναρξη συντονισμένων ενεργειών από όλη την Ευρώπη για την βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Το 1985 το πρώτο **Πρωτόκολλο του Ελσίνκι** υπό την αιγίδα της Σύμβασης συμφωνήθηκε από όλες τις χώρες μέλη για

μείωση των θειούχων ενώσεων κατά 30%, αν και τελικά δεν τηρήθηκε από όλες τις χώρες μέλη. Τα επόμενα πρωτόκολλα αφορούσαν στην μείωση εκπομπών των οξειδίων του αζώτου (NOx) και των Πτητικών Οργανικών Ενώσεων (VOC). Καθόλη τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 μία σειρά από Οδηγίες ψηφίστηκαν για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, για την ποιότητα των καυσίμων αλλά και για εκπομπές από συγκεκριμένου τύπου εγκαταστάσεις.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 έγινε σαφές ότι παρά τις όποιες βελτιώσεις επιτεύχθηκαν στην ποιότητα του αέρα, στην Δυτική Ευρώπη υπήρχαν ακόμη πολλά προβλήματα να επιλυθούν σε σχέση με την ατμοσφαιρική ρύπανση και ότι την προκαλεί αλλά και ότι αυτή προκαλεί (πχ. επιπτώσεις στην υγεία). Άλλωστε το επεισόδιο του 1991 στο Λονδίνο που επέφερε τον πρόωρο θάνατο 170 ανθρώπων δεν άφηνε περιθώρια αμφιβολιών. Έτσι, πιο αποτελεσματικές προσπάθειες έπρεπε να καταβληθούν από την ΕΕ. Αποτέλεσμα αυτών των προσπαθειών ήταν η υποχρεωτική χρήση τριοδικού καταλύτη στα καινούργια αυτοκίνητα μέσω Οδηγίας. Μία πιο συστηματική προσέγγιση στην βελτίωση της ποιότητας του αέρα έγινε με την δημιουργία του **Ευρωπαϊκού Πρωτοκόλλου Παρακολούθησης και Αξιολόγησης**.

Σε ότι αφορά γενικότερα στην νομοθεσία που ισχύει σήμερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η Ευρωπαϊκή Οδηγία (96/62/EC) αποτέλεσε σταθμό στον έλεγχο και στη διαχείριση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Οι Οδηγίες της ΕΕ που συνεπάγονταν την βασική Οδηγία 96/62/EC, δηλαδή οι **'Air Quality Daughter Directives'** και οι συσχετιζόμενες με αυτές έχουν ως στόχο την περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας του αέρα σε όλες τις χώρες μέλη της ΕΕ. Οι Οδηγίες αυτές συμβάλουν στην μείωση της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα αφού διαπραγματεύονται τους αέριους ρύπους σε διεθνές επίπεδο, περικλείει τη διασυνοριακή φύση της σωματιδιακής ρύπανσης και

θέτει πρότυπα για εκπομπές που προέρχονται από βιομηχανίες αλλά και άλλου τύπου εκπομπές. Οι νέες Οδηγίες και τα νέα όρια – τιμές που αυτές θέτουν εφαρμόζονται σε χρονικό πλαίσιο που τίθεται στις οδηγίες αυτές.

Η Ευρωπαϊκή Νομοθεσία συνεχώς αναθεωρείται με στόχο την περαιτέρω μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που συνεπάγεται αυτόματα τη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Τα όρια που τίθενται για τις αέριες εκπομπές γίνονται με την πάροδο των χρόνων όλο και πιο αυστηρά. Για το λόγο αυτό άλλωστε δεν έχουμε τα επεισόδια ρύπανσης που είχαμε στις προηγούμενες δεκαετίες των 1970 και 1980.

2.3.2 Μεγάλη Βρετανία

Στη **Μεγάλη Βρετανία** κατά τη διάρκεια του αρχών του 20^{ου} αιώνα, μετά τη θέσπιση των πρώτων μέτρων που συνεπάγονταν ελέγχους στις βιομηχανίες, παρατηρήθηκε μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές όπου εφαρμόστηκαν τα μέτρα αυτά. Το **1926** το **Abatement Act** έθεσε ως στόχο της μείωση των εκπομπών καπνού στις βιομηχανικές περιοχές και παρά την μειωμένη σημαντικότητα του άνθρακα ως καύσιμο για οικιακή χρήση, η ρύπανση από τις οικιακές πηγές παρέμεινε σημαντική.

Με αφορμή το τραγικό περιστατικό του 1952 στο Λονδίνο, το **Great London Smog**, του οποίου ο τραγικός απολογισμός ήταν 4000 νεκροί, θεσπίστηκαν τα **Clean Air Acts** του **1956** και του **1968** διαδοχικά. Οι νομοθετικές αυτές πράξεις εισήγαγαν τις περιοχές χωρίς καπνό, γνωστές ως “**smokeless zones**” στις αστικές περιοχές, στις οποίες θα υπήρχαν πλέον μόνο ψηλές καμινάδες που θα επέτρεπαν την διασπορά των αέριων βιομηχανικών μακριά από τις γύρω κατοικημένες περιοχές.

Επίσης λόγω του γεγονότος της απομάκρυνσης των βιομηχανιών από τα αστικά κέντρα σε συνδυασμό με την χρήση του φυσικού αερίου και της ηλεκτρικής ενέργειας που πλέον κάλυπταν σε μεγάλο βαθμό τις ενεργειακές ανάγκες των νοικοκυριών, οι πηγές αέριων ρύπων μετατοπίστηκαν εκτός των αστικών κέντρων και τα επεισόδια που προκαλούσαν μειώθηκαν στη Μεγάλη Βρετανία τόσο σε συχνότητα όσο και σε ένταση. Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1960, όλο και λιγότερες ανησυχίες υπήρχαν πλέον για το φαινόμενο της αέριας ρύπανσης, γεγονός που αποδεικνυε τις βελτιώσεις στην ποιότητα του αέρα που σημειώθηκαν.

Με τη θέσπιση και εφαρμογή των Πράξεων για Καθαρό Αέρα, παρατηρήθηκε βελτίωση στην ποιότητα του αέρα καθόλη τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970. Περαιτέρω κανονισμοί εισήχθησαν το **1974** μέσω του Ελέγχου της Πράξης για την Αέρια Ρύπανση - "**Control of Air Pollution Act**". Η πράξη αυτή έθετε κανονισμούς για τη σύνθεση του καύσιμου κινητήρων καθώς επίσης και τιμές - όρια για την περιεκτικότητα του βιομηχανικού πετρελαίου σε θείο.

Παρόλα αυτά, η δεκαετία που ακολούθησε, ξεκινώντας από το 1980, ήταν ιδιαίτερα επιβαρημένη σε ότι αφορά στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Ο σταθερά αυξανόμενος αριθμός των τροχοφόρων στις αστικές περιοχές δημιούργησε τεράστια προβλήματα, επιβαρύνοντας τον ήδη μολυσμένο ατμοσφαιρικό αέρα. Οι εκπομπές από τα αυτοκίνητα έκαναν το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ακόμη πιο έντονο και κατά συνέπεια πιο εμφανές. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στις επιπτώσεις του μολύβδου στην ανθρώπινη υγεία αλλά με το τέλος της δεκαετίας αυτής και στις αρχές της επομένης, έμφαση δόθηκε και στους υπόλοιπους ρύπους που εκέμπονταν από τα τροχοφόρα. Κατά την δεκαετία του 1990 παρατηρήθηκε η επίδραση των εποχών, τόσο του χειμώνα όσο και του καλοκαιριού, στη ρύπανση που

προκαλείται από υψηλές τιμές καπνού. Οι επιδράσεις αυτές από τις εποχές δεν προκαλούνται από τον καπνό και το διοξείδιο του θείου, αλλά από χημικές αντιδράσεις που δημιουργούνται μεταξύ των αερίων ρύπων που εκπέμπονται από τα τροχοφόρα και το φυσικό φως του ήλιου. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό και ως φωτοχημική ρύπανση – “*photochemical smog*”-.

Το **1995**, η Κυβέρνηση πέρασε το **Environment Act**, το οποίο προϋπέθετε την δημοσίευση της Εθνικής Στρατηγικής για την Ποιότητα του Αέρα, η οποία θα έθετε με τη σειρά της πρότυπα για τη νομοθέτηση των πιο σημαντικών αερίων ρύπων. Η αναγκαία δημοσίευση έλαβε χώρα το 1997, και έθεσε περιορισμούς στις τοπικές αρχές στο να θέσουν νέους στόχους για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και να τους εφαρμόσουν μέχρι το 2005. Η Στρατηγική αυτή εξετάζεται και ανανεώνεται περιοδικά.

Σήμερα, η σειρά μέτρων που θεσπίζονται στη Μεγάλη Βρετανία, καθορίζονται από ένα συνδυασμό εθνικής και ευρωπαϊκής νομοθεσίας γεγονός που αποδεικνύει τη σημαντικότητα του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το ισχύον πρόγραμμα της ΕΕ “**Air Quality Strategy**”, που δημιουργήθηκε αρχικά το 2000 και αναδιαμορφώθηκε το 2003, παρέχει το πλαίσιο για τον έλεγχο της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Η συγκεκριμένη στρατηγική παρέχει πρότυπα, στόχους και χρονοδιάγραμμα για οκτώ βασικούς αερίους ρύπους καθώς και ένα χρονοδιάγραμμα για την επίτευξη των τιμών - ορίων.

2.3.3 ΗΠΑ

Στις **ΗΠΑ** όλα τα προαναφερόμενα επεισόδια ρύπανσης και ότι αυτά επέφεραν οδήγησαν στην δημιουργία του «**Πράξη για Καθαρό Αέρα**» - “**Clean Air Act**” - του

1955 (αναθεωρήθηκε το 1963, το 1970 και αργότερα το 1990). Οι τοπικές κυβερνήσεις ενδυνάμωσαν αυτό τον θεσμό θέτοντας ανώτατα όρια εκπομπών τα οποία η κάθε πολιτεία δεν μπορεί να υπερβεί.

Το **1955**, μετά από πολλές αποφάσεις και κανονισμούς που θεσπίστηκαν για την καταπολέμηση της αέριας ρύπανσης, από τις τοπικές κυβερνήσεις των ΗΠΑ, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση αποφάσισε ότι πιο αποτελεσματικά θα επιλυθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα μόνο αν θεσπιστεί περιβαλλοντική νομοθεσία σε εθνικό επίπεδο. Έτσι, θεσπίστηκε το **Air Pollution Control Act** το **1955**, το οποίο αποτέλεσε το πρώτο βήμα στην περιβαλλοντική νομοθεσία των ΗΠΑ. Μέσω της κίνησης αυτής έγινε γνωστό το πρόβλημα στους πολίτες καθώς και η σοβαρότητά του.

Οκτώ χρόνια μετά, το Κογκρέσο πέρασε την «**Πράξη για Καθαρό Αέρα**» του **1963**. "Η πράξη αυτή έχει ως στόχο την βελτίωση, ενδυνάμωση, και επιτάχυνση των προγραμμάτων για την πρόληψη και αντιμετώπιση αέριας ρύπανσης". Αρχικά, δεν λήφθηκαν υπόψη οι κινητές πηγές ρύπανσης οι οποίες αποτελούσαν και την κύρια πηγή πολλών επικίνδυνων ρύπων. Όταν τέθηκαν τα πρότυπα εκπομπής, έπρεπε να τεθούν και χρονικά όρια εφαρμογής τους από τις βιομηχανίες. Οι επόμενες τροποποιήσεις που πέρασαν στο Clean Air Act ήταν διαδοχικά το 1965, 1966, 1967, και 1969. Οι τροποποιήσεις αυτές έδωσαν το δικαίωμα στο Υπουργείο Υγείας να θεσπίσει πρότυπα για τις εκπομπές των τροχοφόρων, να κάνει πιο εκτενή τα τοπικά προγράμματα ελέγχου αέριας ρύπανσης, να θεσπίσει περιοχές ελέγχου αέριας ρύπανσης - "**air quality control regions**" - να θέσει πρότυπα ποιότητας αέρα και ημερομηνίες εναρμόνισης για τις σταθερές πηγές ρύπανσης, και να θεσπίσει συνεχόμενη έρευνα και πειράματα για την επίτευξη χαμηλών εκπομπών αέριων ρύπων από καύσιμα και τροχοφόρα.

Μέχρι το 1970, είχαν θεσπιστεί σημαντικές περιβαλλοντικές νομοθετικές πράξεις. Όμως, οι πράξεις αυτές δεν ήταν επαρκείς για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αέριας ρύπανσης. Παρά το ότι τεχνικά ήταν μία τροποποίηση νόμου, η **«Πράξη για Καθαρό Αέρα» του 1970** ήταν ένας πολύ σημαντικός σταθμός αφού αποτέλεσε ουσιαστικά μία αναθεώρηση μέσω της οποίας τέθηκαν πολύ αυστηρά πρότυπα. **"Η Πράξη αυτή τροποποιεί την «Πράξη για Καθαρό Αέρα» έτσι ώστε να παράσχει μέσω ενός αποτελεσματικού προγράμματος βελτιωμένη ποιότητα του αέρα"**. Θεσπίστηκαν νέα κύρια και δευτερεύοντα πρότυπα για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, μπήκαν νέα όρια για τις αέριες εκπομπές από τις σταθερές αλλά και κινητές πηγές που έπρεπε να τηρηθούν τόσο από τις τοπικές αρχές όσο και από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση και τέλος δόθηκαν πολύ μεγάλα χρηματικά ποσά για την έρευνα στην αέρια ρύπανση και την καταπολέμηση της. Γρήγορα, έγινε η διαπίστωση ότι οι στόχοι που τέθηκαν ήταν υπερβολικά φιλόδοξοι, ειδικά σε ότι αφορά τα όρια εκπομπής των τροχοφόρων. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες προκειμένου να εναρμονιστούν με τα πρότυπα που θεσπίστηκαν, σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα, αντιμετώπισαν σοβαρά οικονομικά προβλήματα και εμφανώς ανυπέβλητες τεχνολογικές προκλήσεις.

Μέσα στην επόμενη δεκαετία, η νομοθεσία αναθεωρήθηκε για μία ακόμη φορά έτσι ώστε να επεκτείνει τα χρονικά περιθώρια εναρμόνισης με την ισχύουσα περιβαλλοντική νομοθεσία και τα πρότυπα που αυτή έθεσε και να επιτρέψει έτσι στις πολιτείες να αναθεωρήσουν τα σχέδια εναρμόνισης – προσαρμογής με ότι στόχους έθετε η **«Πράξη για Καθαρό Αέρα»**. Το Κογκρέσο δεν προέβη σε τροποποίηση της **«Πράξη για Καθαρό Αέρα»** κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του **1980** κι αυτό γιατί ο τότε Πρόεδρος των ΗΠΑ Reagan και η κυβέρνησή του έθεσε ως πρωταρχικό σκοπό την επίτευξη των οικονομικών στόχων εις βάρος των περιβαλλοντικών στόχων.

Το 1990, μετά από μία μακρόχρονη περίοδο αδράνειας, η κυβέρνηση τροποποίησε την «Πράξη για Καθαρό Αέρα» με βάση τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα που ταλάνιζαν τη χώρα αλλά να ασχοληθεί και με τα νέα ζητήματα που προκύπτουν. **“Η πράξη αυτή τροποποιεί την Πράξη για Καθαρό Αέρα με στόχο να παράσχει την προστασία της ανθρώπινης υγείας θέτοντας πρότυπα ποιότητας αέρα”**. Έτσι, η Διορθωτική Πράξη για Καθαρό Αέρα που προέκυψε, έδωσε έμφαση σε πέντε βασικά ζητήματα: πρότυπα ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα, εκπομπές τροχοφόρων και εναλλακτικά καύσιμα, τοξικοί αέριοι ρύποι, όξινη βροχή, και καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος. Θέτοντας αυτά τα περιβαλλοντικά ζητήματα, η «Πράξη για Καθαρό Αέρα» είχε ως στόχο το να ενδυναμώσει και παράλληλα να βελτιώσει την ισχύουσα νομοθεσία.

Στην πρώην ΕΣΣΔ θεσπίστηκε περιβαλλοντική νομοθεσία για πρώτη φορά το 1949. Μέσω της νομοθεσίας αυτής ζητήθηκε από τις βιομηχανίες να μετρούν την αέρια ρύπανση που προκαλούν.

3.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

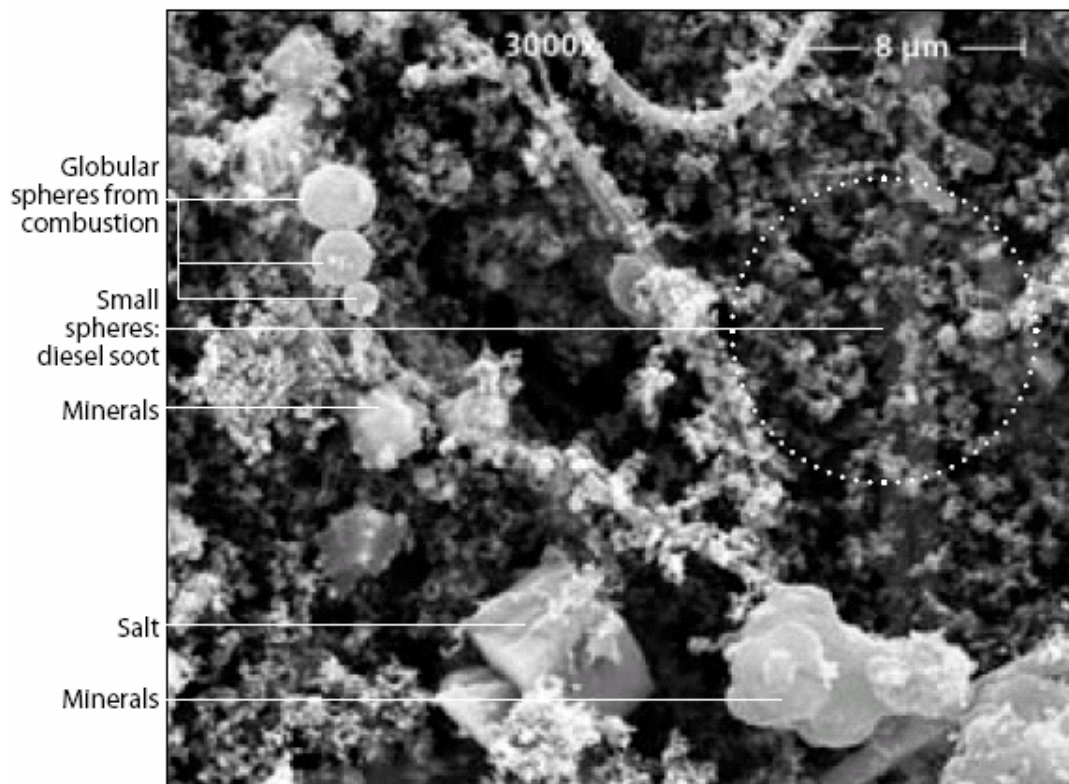
Αιωρούμενα Σωματίδια προέρχονται από ανθρωπογενείς και φυσικές πηγές και είναι μίγμα πολλών ρύπων. Δεν είναι όπως πολλοί άλλοι ρύποι καθαρή χημική ένωση, αλλά μίγμα πολλών διαφορετικών ουσιών. Πιθανότατα, τα αιωρούμενα σωματίδια να αποτελούν τον πιο σύνθετο τύπο ρύπου, λόγω της σύνθετης χημικής σύστασης τους. Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι γνωστά και ως **Particulate Matter, PM**. Παρά το γεγονός ότι τα περισσότερα σωματίδια δεν είναι σφαιρικά, με εξαίρεση την περίπτωση που τα σωματίδια είναι υγρά ή είναι σε υγρή μορφή πριν στερεοποιηθούν, θεωρούμε το μέγεθος των σωματιδίων ισοδύναμο με την αεροδυναμική τους διάμετρο. Η τελευταία αντιστοιχεί σε διάμετρο σφαίρας με πυκνότητα 1000kg/m^3 και με τις ίδιες αεροδυναμικές ιδιότητες (πχ. δέχονται την ίδια δύναμη σε δεδομένο ρεύμα με την ίδια ταχύτητα). Έτσι, τα αιωρούμενα σωματίδια παρουσιάζουν μεγάλο εύρος ως προς την πυκνότητα και ως προς το μέγεθός τους. Ανάλογα με το μέγεθός τους μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής:

- **coarse particles:** είναι τα μεγαλύτερα σωματίδια. Έχουν διάμετρο από $2.5\mu\text{m}$ μέχρι $40\mu\text{m}$,
- **inhalable particles PM_{10} :** είναι τα σωματίδια διαμέτρου $10\mu\text{m}$ ή και μικρότερης διαμέτρου. Σε αυτά ανήκουν και τα μεγαλύτερα σωματίδια με την προϋπόθεση ότι είναι εσπνεύσιμα.
- **fine particles $\text{PM}_{2.5}$:** περιλαμβάνουν σωματίδια διαμέτρου $2.5\mu\text{m}$ ή και μικρότερη.

Η παραπάνω ταξινόμηση δεν συνεπάγεται διαφορές μόνο στο μέγεθος αλλά και ως προς τη χημική τους σύνθεση, τις φυσικές τους ιδιότητες, και τον τρόπο σχηματισμού τους (Elsom, 1993). Επιπρόσθετα, η μέσου όρου σύνθεση των αιωρούμενων σωματιδίων αλλάζει ανάλογα με τις εποχικές και γεωγραφικές συνθήκες.

Στην ατμόσφαιρα τα προαναφερόμενα διαφορετικού μεγέθους σωματίδια συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο. Τα μεγαλύτερα σωματίδια όπως είναι τα coarse particles, δεν έχουν μεγάλο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα. Παραμένουν από λίγα λεπτά μέχρι κάποιες ώρες αιρούμενα στην ατμόσφαιρα και στη συνέχεια καθιζάνουν λόγω της βαρύτητάς τους. Κατά συνέπεια βρίσκονται σχετικά κοντά από την πηγή εκπομπής τους.

Αντίθετα, τα μικρότερα σωματίδια, μεταφέρονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, μπορεί να βρεθούν ακόμη και χιλιάδες μίλια μακριά από την πηγή εκπομπής τους. Τα σωματίδια αυτού του μεγέθους έχουν μεγαλύτερο χρόνο παραμονής και εισπνέονται πιο εύκολα, λόγω του πολύ μικρού ρυθμού καθίζησης και λόγω της αδυναμίας τους στο σχηματισμό συσσωματωμάτων.



Εικόνα 1 Ηλεκτρονική μικρογραφία σε δείγμα PM σε φίλτρο, κοντά σε δρόμο. Εμπεριέχει diesel soot (μικρές σφαίρες χρώματος γκρι) κυριαρχούν στο μίγμα ΠΗΓΗ: C. Trimbacher, Umweltbundesamt Wien.

3.2 ΠΗΓΕΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Τα αιωρούμενα σωματίδια δεν έχουν σταθερή χημική σύσταση. Αποτελούνται από διαφορετικά χημικά στοιχεία, ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους. Τα κύρια συστατικά από τα οποία προκύπτουν είναι ο άνθρακας, θεικές και νιτρικές ενώσεις όπως είναι η στάχτη και το χώμα. Η βασική διαφορά τους από τους άλλους ρύπους είναι ότι τα αιωρούμενα σωματίδια προέρχονται και από μη βιομηχανικές πηγές. Η μη σταθερή χημική σύσταση οφείλεται στις διαφορετικές πηγές από τις οποίες εκπέμπονται τα αιωρούμενα σωματίδια. Ο άνθρακας αποτελεί βασικό συστατικό στοιχείο των αιωρούμενων σωματιδίων σε κάθε περίπτωση και πηγή εκπομπής.

Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να παραχθούν με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η απευθείας εκπομπή των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα από

καύση συμβατικών καυσίμων, διάβρωση του εδάφους, βιομηχανικές διαδικασίες. Τα σωματίδια που προκύπτουν με τον τρόπο αυτό είναι τα «**πρωτογενή**» σωματίδια τα οποία εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα. Ο άλλος τρόπος παραγωγής σωματιδίων είναι μετά από αντιδράσεις αερίων που ήδη υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, παρουσία φωτός. Τα σωματίδια που προκύπτουν έτσι, λέγονται «**δευτερογενή**». Γενικότερα, τα σωματίδια μεγαλύτερης διαμέτρου αποτελούν τα «πρωτογενή», ενώ τα μικρότερης διαμέτρου αποτελούν τα «δευτερογενή».

Τα **Πρωτογενή Σωματίδια PM** αποτελούνται από άνθρακα — εκπέμπονται από τροχοφόρα, βαρύ βιομηχανικό εξοπλισμό, διάβρωση επιφανειών, φωτιές δασών, γεωργικές πρακτικές και καύση απορριμμάτων — και υλικά από σκόνη μεταλλουργικών διαδικασιών, παραγωγή τσιμέντου, από περιοχές που εκτελούνται κατασκευές, φθορά των δρόμων κλπ. Τα «διαφυγόντα» αυτά σωματίδια αποτελούν το 90% του συνόλου των μεγάλων αιωρούμενων σωματιδίων – coarse particles- που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα (Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών -UNECE, 1979).

Τα **Δευτερογενή Σωματίδια PM**, σε αντίθεση με τα Πρωτογενή, σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από μετατροπή των ήδη υπαρχόντων αερίων, όπως το διοξείδιο του θείου SO_2 , τα οξείδια του αζώτου NO_x ή της αμμωνίας NH_3 σε σωματίδια. Έτσι, αφού υπάρχει ήδη πολιτική διαχείρισης για το διοξείδιο του θείου, SO_2 , καθώς και για το διοξείδιο του αζώτου, NO_2 , υπάρχει εν μέρει πολιτικής διαχείρισης και για ένα κομμάτι σχηματισμού των αιωρούμενων σωματιδίων. Σε πολλά αστικά κέντρα τα δευτερογενή σωματίδια είναι αυτά που αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του συνόλου των αιωρούμενων σωματιδίων.

Τα Δευτερογενή ΡΜ περιλαμβάνουν:

- **Θεικά** σχηματίζονται από εκπομπές θειικού διοξειδίου από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και βιομηχανικές εγκαταστάσεις
- **Νιτρικά** σχηματίζονται από εκπομπές νιτρικού οξέος από τροχοφόρα και εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- **Ανθρακα** που σχηματίζεται από εκπομπές οργανικού αερίου από τροχοφόρα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, πυρκαγιές σε δάση και φυσικές πηγές όπως είναι τα δένδρα.

Τα αιωρούμενα σωματίδια, είτε τα Πρωτογενή είτε τα Δευτερογενή προκύπτουν από δυο τύπου πηγές, τις Ανθρωπογενείς και τις Φυσικές πηγές.

3.2.1 Ανθρωπογενείς Πηγές

Στις ανθρωπογενείς πηγές συμπεριλαμβάνονται όλες οι διεργασίες που εμπεριέχουν καύση, τήξη, άλεση, θραύση και ψεκασμό. Τα ανθρωπογενή σωματίδια είναι δευτερογενή στο μεγαλύτερο ποσοστό τους και κατά συνέπεια έχουν πολύ μεγάλο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα.

Οι σημαντικότερες ανθρωπογενείς πηγές είναι:

- ❑ **οι μεταφορές,**
- ❑ **τα δάση & πυρκαγιές σε αγροτικές περιοχές,**
- ❑ **η κεντρική θέρμανση,**
- ❑ **η γεωργία,**
- ❑ **η βιομηχανία,**
- ❑ **η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,**

- οι κατασκευές,
- η μεταλλουργία

Οι σημαντικότερες ανθρωπογενείς πηγές αναλύονται εκτενέστερα παρακάτω.

Μεταφορές

Οι σωματιδιακές εκπομπές από τις μεταφορές προκύπτουν από τις εξατμίσεις των οχημάτων, από τα φθαρμένα ελαστικά καθώς και από τη φθορά και τη διασπορά του οδοστρώματος. Σε αστικές περιοχές οι εκπομπές από οχήματα θεωρείται η σημαντικότερη πηγή εκπομπής σωματιδίων PM10. Τα οχήματα που κινούνται με καύσιμα ντίζελ εκπέμπουν μεγαλύτερη ποσότητα σωματιδίων ανά χιλιόμετρο σε σχέση με τα πετρελαιοκίνητα οχήματα.

Οι εκπομπές από καύση ντίζελ αποτελούνται κυρίως από σωματίδια καπνού, πτητικούς υδρογονάνθρακες και θείο. Όταν οι υδρογονάνθρακες και τα θειικά εκπέμπονται από την εξάτμιση του οχήματος συμπυκνώνονται σε αερομεταφερόμενα σωματίδια, κυρίως πάνω στον μόλις εκπεμπόμενο άνθρακα.

Η κίνηση των οχημάτων στους δρόμους συμβάλει στην φθορά του οδοστρώματος και στην αιώρηση σκόνης από την άσφαλτο. Εκπομπές προκύπτουν ακόμη και από την φθορά των ελαστικών και των φρένων των οχημάτων. Η σύνθεση αυτών των σωματιδίων είναι πολύ πιθανό να είναι διαφορετική από την αντίστοιχη των σωματιδίων που προκύπτουν από την καύση των συμβατικών καυσίμων.

Επιπρόσθετα μία σειρά από παράγοντες όπως η ηλικία και η κατάσταση του οχήματος, η θερμοκρασία και η οδηγική συμπεριφορά επηρεάζουν τις εκπομπές των σωματιδίων.

Δάση και Πυρκαγιές σε Αγροτικές Περιοχές

Οι εκπομπές από φωτιές αλλά και οι επαναιωρούμενες στάχτες από την καμένη γη μπορούν να αποτελέσουν πηγή εκπομπών σωματιδίων PM10. Το πυρογενές αυτό υλικό, που αποτελείται από οργανική ουσία, ανόργανη ουσία και μαύρο άνθρακα είναι μεγέθους μικρότερου των 10 μm και μπορεί να αιωρείται αφού παρασυρθεί από τον αέρα (Crutzen P.J. and M.O. Andreae (1990). Biomass burning in the tropics: Impact on Atmospheric Chemistry and Biogeochemical Cycles. Science 250, 1669-1678).

Αν και ο τρόπος αυτός παραγωγής σωματιδίων μπορεί να είναι αποσπασματικός άρα όχι ιδιαίτερης σημασίας, σε περιοχές όπου η πρακτική της καύσης των χωραφιών είναι ιδιαίτερα συνήθης, αποτελεί βασικό τρόπο παραγωγής σωματιδίων. Ετησίως σε χώρες της Μεσογείου προκύπτουν περίπου 50.000 φωτιές, παράγοντας από 700.000 μέχρι 1.000.000 εκτάρια καμένης γης (Velez Mu.oz R. (1990). Los incendios forestales en Espa.a. Ecologia. Fuera de serie nº1. 213-223). Έτσι, η διαδικασία αυτή μπορεί να συμβάλλει πολύ στη σωματιδιακή ρύπανση στις Μεσογειακές χώρες. Οι φωτιές σε αγροτικές περιοχές αφορά κυρίως στην καύση της βιομάζας και σε πολλές χώρες η πρακτική αυτή έχει απαγορευτεί. Παρόλα αυτά η πηγή αυτή παραγωγής σωματιδίων είναι αποσπασματική και δεν αναμένεται να αποτελέσει ποτέ σημαντική πηγή παραγωγής σωματιδίων.

Κεντρική Θέρμανση

Οι καυστήρες θέρμανσης κατοικιών είναι μία πολύ σημαντική πηγή εκπομπής σωματιδίων σε όλες τις Ευρωπαϊκές πόλεις, μόνο όμως κατά τους χειμερινούς μήνες.

Βιομηχανία

Οι εκπομπές σωματιδίων από τις βιομηχανίες είναι πολύ σημαντικές στις αστικές περιοχές. Ο βαθμός εκπομπής από την βιομηχανία εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την τοποθεσία στην οποία είναι εγκατεστημένη η βιομηχανία και αντιρρυπαντική τεχνολογία και πολιτική που έχει υιοθετήσει η βιομηχανία. Οι εκπομπές από βιομηχανικές πηγές έχουν μέγεθος 0.5 - 100nm, ανάλογα με το αντικείμενο της βιομηχανίας και τις διεργασίες. Η σύσταση των σωματιδίων εξαρτάται από το αντικείμενο της βιομηχανίας.

Βιομηχανικές καύσεις & Καύσεις απορριμμάτων σε αστικά κέντρα

Σε πολλές Ευρωπαϊκές πόλεις μία μέθοδος διαχείρισης των στερεών απορριμμάτων είναι η καύση τους σε κλιβάνους. Η μεθοδολογία ως αναλογία διαχείρισης του συνόλου των στερεών απορριμμάτων ακολουθείται κατά 13% στην Ιταλία έως και 53% στην Ελβετία με μέσο όρο σε όλες τις χώρες μέλη της ΕΕ το 20%. Σε κάποιες άλλες χώρες μέλη της ΕΕ (πχ. Ελλάδα, Ισπανία, Πορτογαλία) η πολιτική αυτή δεν έχει καμία εφαρμογή, ή βρίσκεται υπό εξέταση ως εναλλακτική πολιτική διαχείρισης στερεών απορριμμάτων στο μέλλον. Οι δύο τύποι αποβλήτων που προκύπτουν ως προϊόντα της καύσης των απορριμμάτων είναι οι αέριες εκπομπές της καύσης και η στάχτη. Η

στάχτη αποτελείται από άνθρακα, ίχνη μετάλλων με μέγεθος από 5 μέχρι 150μm. Το μέγεθος των ποσοτήτων τόσο των αέριων εκπομπών όσο και της στάχτης εξαρτώνται από τον κλίβανο και το είδος των φίλτρων που χρησιμοποιούνται (scrubbers). Τέλος, η στάχτη που συλλέγεται από τα φίλτρα πρέπει να διατεθεί προσεκτικά, σε ένα ελεγχόμενο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα εκπομπής διαφυγούσας στάχτης (Pavoni J.L., J.E. Heer Jr. and D.J. Hagerty (1975). Handbook of solid waste disposal. Materials and Energy recovery. Van Nostrand Reinhold Company. New York 1975). Φωτιές από ατύχημα σε μη ελεγχόμενες χωματερές μπορεί να προκαλέσουν υψηλά επίπεδα σωματιδιακών εκπομπών.

Εργοστάσια Ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα ή πετρέλαιο

Τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα είναι συνήθως εξοπλισμένα με ηλεκτροστατικά φίλτρα ή κυκλώνες που συγκρατούν κατά μέσο όρο το 99,5% των σωματιδιακών εκπομπών. Έτσι, μόνο τα σωματίδια πολύ μικρής διαμέτρου, και τα οποία μπορεί να παρασυρθούν από τον αέρα, αναμένεται να συντελέσουν στην αύξηση της σωματιδιακής ρύπανσης σε άλλες περιοχές, μακριά από το εργοστάσιο. Κάποιες χώρες της ΕΕ χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο το φυσικό αέριο για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Τα σωματίδια που παράγονται στην περίπτωση αυτή είναι ακόμη λιγότερα. Η έρευνα στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού **CORINAIR** (Bouscaren R., C. Veldt, K.H. Zierock and B. Lübker (1987). CORINAIR project, Programme CORINE, National Experts Meeting held in Brussels, 7-8 May 1987) αποδεικνύει ως την κύρια σημειακή πηγή διοξειδίου του θείου τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Μέρος αυτής της ποσότητας θα αντιδράσει χημικά παράγοντας θειικό οξύ το οποίο οδηγεί στο σχηματισμό δευτερογενών σωματιδίων.

Κατασκευαστικός τομέας & Μεταλλουργία

Αν και ποσοτικοποιημένα στοιχεία αναφορικά με τις εκπομπές σωματιδίων από κατασκευές είναι πολύ λίγα, κάποια σχετική έρευνα που διεξήχθη από την EPA, στις ΗΠΑ, έδωσε συνολική μηνιαία ποσότητα αιωρούμενων σωματιδίων 2.5 τόνοι/εκτάρια σε περιοχές με έντονη κατασκευαστική δραστηριότητα. Το μέγεθος των σωματιδίων που προκύπτουν από τέτοιου τύπου πηγές είναι μεγαλύτερο από 10mm. Παρόλα αυτά είναι πιθανή η παρουσία κάποιων σωματιδίων μικρότερης διαμέτρου. Κάποια από αυτά τα σωματίδια μπορεί να επαναιωρηθούν από την παραγόμενη σκόνη ή τον αέρα.

Εξίσου δύσκολη είναι η πρόσβαση σε ποσοτικοποιημένα στοιχεία των σωματιδίων που παράγονται κατά τις μεταλλουργικές δραστηριότητες. Η ποιοτική σύσταση των σωματιδίων που προκύπτει από τις ίδιες δραστηριότητες είναι επίσης δύσκολο να καθορισθεί. Στις ΗΠΑ έχει καθορισθεί το μέγεθος των παραγόμενων από λατομεία και μεταλλουργικές δραστηριότητες σωματιδίων στην τάξη που κυμαίνεται από 0.007 ως 0.119 kg/τόνο των παραγόμενων αποβλήτων (United States Environmental Protection Agency (April 1995), AP42 Emission Factors, Superintendent of Documents, US Government Printing Office, Washington DC, USA). Ανάλογα την μηχανική επεξεργασία που λαμβάνει χώρα, την ταχύτητα ανέμου και τον τύπο πετρώματος που υφίσταται την επεξεργασία τα παραγόμενα σωματίδια αναμένεται να είναι μεγαλύτερης διαμέτρου 3mm.

Βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου και κεραμικών

Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η ποσότητα των σωματιδίων που εκπέμπονται από μία τσιμεντοβιομηχανία και συμβάλλουν στην αέρια ρύπανση. Κι αυτό γιατί η χημική σύσταση των σωματιδίων που παράγονται από τέτοιου τύπου βιομηχανίες είναι πανομοιότυπη με τη αντίστοιχη χημική σύσταση του εδάφους και της σκόνης παραγωγής. Πάντως στη Μεγάλη Βρετανία έχει υπολογιστεί σε βιομηχανία παραγωγής τσιμέντου και ασβέστη ετήσια παραγωγή σωματιδίων 4456 τόνων.

3.2.2 Φυσικές Πηγές

Πολλές φυσικές διεργασίες συμβάλλουν στο σχηματισμό σωματιδίων. Τέτοιου τύπου διεργασίες περιλαμβάνουν:

- ❑ την ηφαιστειακή δραστηριότητα, από την οποία προκύπτουν τόσο τα πρωτογενή όσο και δευτερογενή σωματίδια,
- ❑ τις πυρκαγιές,
- ❑ την αποσάθρωση του εδάφους
- ❑ την μεταφορά του χώματος και της άμμου από τον αέρα,
- ❑ την διασπορά αλάτων από το θαλασσινό νερό μέσω του κυματισμού και
- ❑ την εκπομπή αερίων από το οικοσύστημα (πχ. εκπομπή θείου από βάλτους)

Το 80% παραγόμενων αέριων σωματιδίων ετησίως προέρχεται από φυσικές πηγές.

Όμως τα ανθρωπογενή σωματίδια είναι αυτά που επηρεάζουν πολύ την ποιότητα του

αέρα αφού στο μεγαλύτερο ποσοστό τους είναι δευτερογενούς προέλευσης με πολύ μεγάλο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα.

Θαλάσσιες πηγές

Σημαντική φυσική πηγή σωματιδίων είναι η εξάτμιση των σταγονιδίων θαλασσινού νερού. Κάθε φορά που σπάει ένα κύμα, πολλές σταγόνες νερού παραμένουν αιωρούμενες στον αέρα. Το νερό αυτό εξατμίζεται και απομένει ένας κρύσταλλος άλατος. Αν και τα σωματίδια αυτά έχουν σχετικά μεγάλο μέγεθος, ένα μέρος τους αποτελείται από μικρά σωματίδια, γεγονός που επεκτείνει τον χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα σε τρεις μέρες (Junge C.E. (1972). Our knowledge of the physico-chemistry of aerosols in the undisturbed marine environment, J. Geophys. Res. 77, 5183-5200). Οι παράκτιες περιοχές επηρεάζονται όπως είναι αναμενόμενο περισσότερο από την πηγή αυτή.

Κατά τους χειμερινούς μήνες ανάλογης χημικής σύστασης σωματίδια προκύπτουν όταν γίνεται χρήση άλατος για το λιώσιμο των πάγων στους δρόμους. Η σύσταση του άλατος που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό έχει την ίδια χημική σύσταση με την αντίστοιχη του άλατος της θάλασσας. Στα δύο αυτά είδη άλατος δεν διακρίνεται εύκολα η διαφορετικότητά τους. Τα οχήματα που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες στους αυτοκινητόδρομους σε συνθήκες βροχής σηκώνουν ορατές στήλες spray που εμπεριέχουν άλας όπως όταν χρησιμοποιείται το τελευταίο για το λιώσιμο των πάγων. Αν και αυτή η διαδικασία δεν είναι αντιληπτή ορατά δημιουργείται και σε αστικές περιοχές και δρόμους με οχήματα που κινούνται με χαμηλότερες ταχύτητες.

Διάβρωση εδάφους

Μετεωρολογικοί μηχανισμοί όπως η θερμοκρασιακές μεταβολές, οι άνεμοι, παράγουν σκόνη από την διάβρωση εδάφους. Η σκόνη αυτή μπορεί να παρασυρθεί από τον άνεμο και το μέγεθος των παραγόμενων σωματιδίων εξαρτάται από την γεωλογική πηγή που προέρχονται (Warneck P. 1988, Chemistry of the Natural Atmosphere, Internat. Geophysics Series, Vol. 41) με το μέγεθός τους να ποικίλει από 5 έως 50mm.

Η επίδραση του ανέμου σε στεγνό έδαφος έχει ως αποτέλεσμα την αιώρηση των σωματιδίων από τον αέρα. Οι παράγοντες που ευνοούν την αιώρηση των σωματιδίων στον αέρα είναι το στεγνό έδαφος αφενός και αφετέρου ο δυνατός άνεμος. Σε αστικές περιοχές η έκταση του εδάφους που είναι εκτεθειμένο είναι περιορισμένη. Παρόλα αυτά υπάρχουν σημαντικές ποσότητες σκόνης στους δρόμους και στα πεζοδρόμια που προκύπτουν από τα λάστιχα και τη φθορά των φρένων των οχημάτων καθώς και την διάβρωση και φθορά του οδοστρώματος. Λόγω του γεγονότος ότι τα σωματίδια βρίσκονται στην επιφάνεια η οποία και στεγνώνει εύκολα, γίνεται αντικείμενο της ατμοσφαιρικής αναταραχής που προκαλείται από τα κινούμενα οχήματα. Με τον τρόπο αυτό τα σωματίδια επαναιωρούνται. Οι ποσότητες των σωματιδίων που επανακινούνται με την διαδικασία αυτή είναι εξαιρετικά δύσκολο να προβλεφθούν και να εκτιμηθούν ποσοτικά, αφού εξαρτώνται παράγοντες όπως είναι η ταχύτητα των οχημάτων, το σωματιδιακό φορτίο της επιφάνειας του δρόμου και υγρασία της συγκεκριμένης περιόδου. Παρόλα αυτά το μέγεθος της διασποράς και η χημική σύσταση των σωματιδίων στο αστικό περιβάλλον δίνουν σαφή ένδειξη ότι οι προαναφερόμενες διαδικασίες μπορεί να συμβάλουν σημαντικά στην αύξηση της σωματιδιακής ρύπανσης στις πόλεις.

Μεγάλου Εύρους Μεταφορά Σκόνης

Μία φυσική πηγή παραγωγής αιωρούμενων σωματιδίων που δεν μπορεί να παραληφθεί είναι ο άνεμος σε περιοχές με μεγάλες ποσότητες άμμου και οι ανεμοθύελλες σε έρημους. Στην Βορειοδυτική Μεσογειακή περιοχή, μεταφέρονται από την έρημο της Σαχάρα ετησίως 3,9 τόνοι (Löye-Pilot M.D., J.M. Martin and J. Morelli 1986, Influence of Saharan dust on the rain acidity and atmospheric input to the Mediterranean, Nature 321, 427-428). Σε κάποιες περιοχές της Μεσογείου θεωρείται ότι προκύπτει αύξηση των σωματιδίων από την πηγή αυτή. Άλλωστε ένα σημαντικό ποσοστό από τις βροχοπτώσεις στη Νότια Ευρώπη είναι «κόκκινη βροχή». Αν και το μεγαλύτερο ποσοστό της σκόνης πηγαίνει στις Μεσογειακές χώρες, υπάρχουν και χώρες της βορειότερης Ευρώπης (Junge C.E. (1972), Our knowledge of the physico-chemistry of aerosols in the undisturbed marine environment. J. Geophys. Res. 77, 5183-5200), αλλά και μέρη των ΗΠΑ (McDowell W.H., C. Gines Sanchez, C. E. Asbury and C.R. Ramos Perez, 1990, Influence of sea salt and long range transport on precipitation chemistry at El Verde, Puerto Rico. Atmos. Environ. 11, 2813-2821) που έχουν μερίδιο στην σκόνη που υπάρχει στη Σαχάρα.

Υπάρχει μεγάλη κατακάθιση/εναπόθεση σωματιδίων όταν υπάρχει μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα. Κι αυτό γιατί τα σωματίδια που προέρχονται από την περιοχή το μέγεθός τους είναι σχετικά μεγάλο. Άρα, έχουν μικρό χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα, αν και η μεγάλη μεταφορά τους σε χώρες της ΕΕ και της Βόρειας Αφρικής αποδεικνύουν ότι δεν είναι πάντα έτσι. Η σύνθεση των σωματιδίων που προκύπτουν από τη Σαχάρα έχει υψηλά ποσοστά σε ασβεστίτη με κάποιες ποσότητες γύψου σε μορφή σκόνης και μετάλλων που επηρεάζουν την ατμοσφαιρική σύσταση/χημεία στις Μεσογειακές χώρες (Roda F., J. Bellot, A. Avila, A. Escarra, J. Pihl and J. Terradas (1993) Saharan dust and the atmospheric inputs of elements and

alkalinity to Mediterranean ecosystems, *Water, Air and Soil Poll.* 66, 277-288). Παρόλα αυτά δεν μπορεί ακόμη να προσδιοριστεί ποσοτικά η συμβολή της σκόνης από τη Σαχάρα στην αύξηση της σωματιδιακής ρύπανσης των PM10 στις Μεσογειακές χώρες.

Ηφαιστειακή Δραστηριότητα

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα παρατηρείται σε κάποιες περιοχές της Ευρώπης, όπως η Ισλανδία, η Σικελία, ακόμη και σήμερα. Η ηφαιστειακή στάχτη που παράγεται από τα ηφαίστεια μπορεί και αποτελεί σημαντική τοπική πηγή σωματιδίων PM10 σε όμορες περιοχές των ηφαιστειών. Εκπομπές διοξειδίου του θείου από ηφαίστεια μπορούν επίσης να συμβάλουν στο σχηματισμό δευτερογενών σωματιδίων. Παράδειγμα αποτελεί το ηφαίστειο Αίτνα στη Σικελία, όπου παράγει ημιμόνιμες εκπομπές SO₂ (4.000 τόνοι/ημέρα) από ηφαιστειακή στήλη και μάγμα απαεροποιημένο (Haullet R., P. Zettwoog and J.C. Sabroux, 1977, Sulphur dioxide discharge from Mount Etna. *Nature* 268, 715-717).

3.3 ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Ο τρόπος μέτρησης και παρακολούθησης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι διαφορετικός από την αντίστοιχη μέθοδο που ακολουθείται για τους υπόλοιπους αέριους ρύπους. Υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία διαφορετικών μεθόδων δειγματοληψίας (sampling) και ανίχνευσης (detection), όπως η μέθοδος μέτρησης μάζας με δονούμενο στοιχείο (Tapered Element Oscillating microbalance - TEOM), οι αναλυτές απορρόφησης ακτινών βήτα, η βαρομετρική δειγματοληψία (gravimetric sampling) και τα συστήματα σκέδασης φωτός (light scattering systems). Το σύστημα μοντελοποίησης (modeling) επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία μέτρησης και οι κατάλληλα

σχεδιασμένες αεροδυναμικές κεφαλές είναι βασικές για τον κατάλληλο προσδιορισμό δείγματος (UNEP - WHO, 1994).

Ενεργοί Δειγματολήπτες (Active Samplers)

Οι βαρομετρικοί δειγματολήπτες συλλέγουν τα σωματίδια σε φίλτρο χρησιμοποιώντας μεγάλο (100 m³/hour) ή μικρό (1 m³ /hour) όγκο δείγματος. Το βάρος των σωματιδίων που βρίσκονται στο φίλτρο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μέσης συγκέντρωσης μάζας (average mass concentration) κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Πρότυπο ISO για τον υπολογισμό κεφαλών δειγματοληψίας PM₁₀ είναι διαθέσιμο (EN, 1999).

Οι διάφορες τεχνικές παρακολούθησης δεν οδηγούν απαραίτητα σε συγκρίσιμα, αποτελέσματα. Τα φίλτρα, οι διαφορετικές τεχνικές δειγματοληψίας, η θερμοκρασία στην οποία γίνονται, αποτελούν παράγοντες ικανούς να επηρεάσουν σημαντικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Η ακρίβεια της μετρούμενης συγκέντρωσης μάζας υπόκειται σε μεγάλο περιθώριο σφάλματος. Στόχος ακρίβειας είναι <10 μg/m³ και <5 μg/m³ (για καθημερινές μέσες συγκεντρώσεις <100 μg/m³) οι οποίοι, για μετρήσεις των PM₁₀, καθορίζονται από EN 12341 (EN, 1999).

Μέσου ή μικρού όγκου, οι βαρομετρικοί δειγματολήπτες είναι λιγότερο θορυβώδεις από τους αντίστοιχους υψηλού όγκου, γεγονός που τους κάνει περισσότερο κατάλληλους και εύχρηστους σε αστικές περιοχές. Όμως, η μάζα σωματιδίων που

συλλέγεται με τους μικρού ή μέσου όγκου δειγματολήπτες, είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με του υψηλού όγκου, άρα υπάρχει πολύ μεγάλη πιθανότητα σφάλματος.

Για να διασφαλίσουμε σωστά στοιχεία θα πρέπει να χειριζόμαστε σωστά τα φίλτρα. Έτσι, τα φίλτρα πρέπει να φυλάγονται σε ελεγχόμενης θερμοκρασίας και υγρασίας περιβάλλον, περίπου στους 20°C και 50% σχετική υγρασία, για τουλάχιστον 24 ώρες πριν και μετά την έκθεση. Τέλος, τα φίλτρα πρέπει να είναι ζυγισμένα με μεγάλη ακρίβεια.

Αυτόματοι Αναλυτές (Automatic Analysers)

Όργανα που είναι διαθέσιμα στο εμπόριο, χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες τεχνικές:

- **Μέθοδος Μέτρησης Μάζας με Παλλόμενο Στοιχείο (Tapered Element Oscillating Microbalance - TEOM)**
- **Αναλυτές Απορρόφησης Ακτινών-Βήτα (ISO/FDIS 1999)**
- **Συστήματα Σκέδασης Φωτός**

Από τα διαθέσιμα όργανα αυτόματου τύπου, τα TEOM και οι αναλυτές απορρόφησης ακτινών βήτα, είναι αυτά που υπάρχουν και λειτουργούν επιτυχώς εδώ και χρόνια στο χώρο. Τα όργανα τύπου light scattering έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και για το λόγο αυτό δεν είναι τόσο αξιόπιστα. Μετά από εμπειρία ετών, έχει αποδειχθεί ότι από διαφορετικά όργανα, ακόμη και όταν είναι τοποθετημένα στο ίδιο σημείο δεν είναι αναμενόμενη η συγκρισιμότητα ή η ισοδυναμία των αποτελεσμάτων.

Σε σωστές συνθήκες μέτρησης, οι δειγματολήπτες πρέπει να τοποθετούνται με μία ελεγχόμενη κεφαλή δειγματοληψίας PM10 και ένα ακριβές σύστημα ελέγχου ροής. Η κεφαλή

δειγματοληψίας PM10 θα πρέπει να ελέγχεται με πρότυπο ISO 7708 (ISO 1995), ώστε να διασφαλίζεται έτσι το ακριβές μέγεθος στο σημείο που γίνεται η δειγματοληψία. Στόχος ακρίβειας είναι $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ και $<5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (για καθημερινές μέσες συγκεντρώσεις $<100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) και καθορίζονται από EN 12341 (EN, 1999). Έλεγχοι σε TEOM που έγιναν σε Βρετανικά δίκτυα αποδεικνύουν τα αποτελέσματα που παράγει ως ρεαλιστικά και εφικτά

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τόσο στις χώρες μέλη όσο και στις υπό ένταξη χώρες της ΕΕ. Θα δούμε επίσης ποιοι παράγοντες συντελούν στον σχηματισμό των ΡΜ και στις δύο ομάδες χωρών. Τέλος, θα εξετάσουμε τις εκτιμήσεις των μελλοντικών συγκεντρώσεων των ΡΜ, που γίνονται μέσω της χρήσης μοντέλων, για όλη την ΕΕ μέχρι το 2010. Ιδιαίτερη αναφορά θα γίνει στις συγκεντρώσεις των ΡΜ στην Ελλάδα και στις μελέτες που έχουν ήδη πραγματοποιηθεί στον ελληνικό χώρο.

4.1. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΡΜ ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΕΕ (1990-2001)

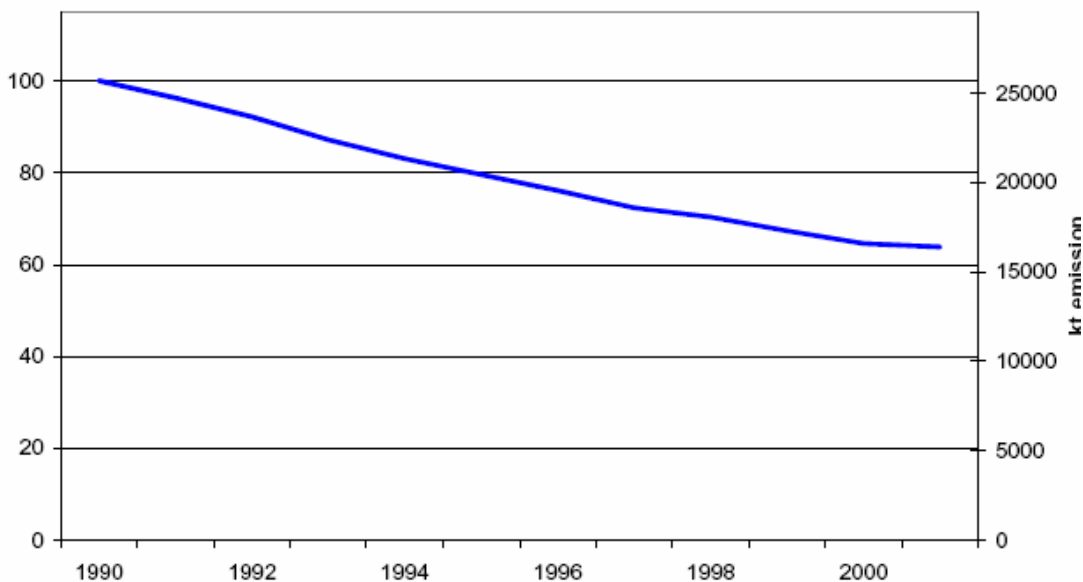
Κατά το χρονικό διάστημα 1990 – 2001, μετά από μετρήσεις σε δεκαπέντε χώρες μέλη της ΕΕ, παρατηρήθηκε κάμψη στις εκπομπές των ΡΜ, συμπεριλαμβανομένων τόσο των πρωτογενών όσο και των δευτερογενών ΡΜ, κατά 36%. Ειδικότερα από το 2000 μέχρι το 2001 η μείωση που παρατηρήθηκε είναι 1.1%. Εννέα χώρες μέλη κατάφεραν να μειώσουν τις εκπομπές τους σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25%, σε σχέση πάντα με το 1990. Μάλιστα, σημειώθηκαν και μεγαλύτερες, εντυπωσιακές μειώσεις συγκεντρώσεων σε δύο χώρες μέλη, στην Μεγάλη Βρετανία και στην Γερμανία. Στις χώρες αυτές σημειώθηκε μείωση συγκεντρώσεων των ΡΜ σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%.

Οι μοναδικές χώρες στις οποίες παρατηρήθηκε αύξηση των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η Ελλάδα και η Πορτογαλία. Η Ελλάδα στο διάστημα από το 1990 μέχρι και το 2001, σημείωσε αύξηση κατά 5%, ενώ η αντίστοιχη αύξηση

στην Πορτογαλία, ήταν πολύ μεγαλύτερη, αφού έφτασε το 21%. Έτσι, διαμορφώθηκε ο μέσος όρος μείωσης στις χώρες μέλη της ΕΕ, που φτάνει το 36%.

Στο Διάγραμμα 4.1, παρουσιάζεται η σταδιακή κάμψη των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων στην ΕΕ, κατά το χρονικό διάστημα που ξεκινά το 1990 και καταλήγει στο 2001. Οι συγκεντρώσεις είναι μετρημένες σε Κιλότονους (Kt), και αφορούν το σύνολο που εκπέμπεται ανά έτος, συνολικά σε συγκεκριμένες δεκαπέντε χώρες μέλη της ΕΕ. Περιλαμβάνονται στις μετρήσεις που έλαβαν χώρα, τόσο τα πρωτογενή, όσο και τα δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια.

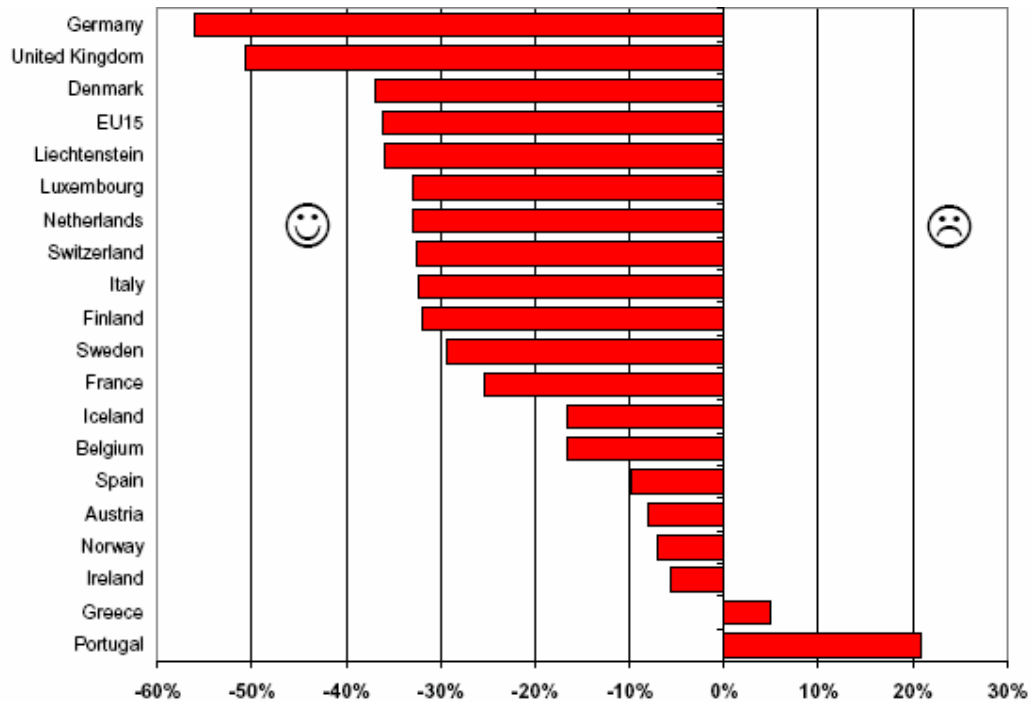
Διάγραμμα 4.1: Εκπομπές PM (Πρωτογενή & Δευτερογενή) σε 15 Χώρες Μέλη της ΕΕ



Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων ανά χώρα, και κατά συνέπεια οι μειώσεις ή οι αυξήσεις που παρουσιάζει η κάθε χώρα μέλος, κατά το διάστημα 1990-2001, φαίνονται στο Διάγραμμα.4.2. Στο Διάγραμμα αυτό παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις της κάθε χώρα μέλους, και οι μεταβολές της, ως μέσος όρος κατά τη

διάρκεια της δεκαετίας που εξετάζουμε. Στο ίδιο Διάγραμμα παρουσιάζεται και η μεταβολή των PM στην ΕΕ, ως μέσος όρος των χωρών μελών που την απαρτίζουν. Στο Διάγραμμα η ΕΕ, συμβολίζεται ως EU15.

Διάγραμμα 4.2: Μεταβολή στις Εκπομπές PM σε Χώρες Μέλη της ΕΕ, κατά το 1990-2001 (ΠΗΓΗ: ΕΕΑ/ETC-AAC, 2003)



4.1.1 Παράγοντες Μείωσης Εκπομπών Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στις Χώρες Μέλη της ΕΕ (1990-2001)

Οι κύριοι λόγοι μείωσης των συγκεντρώσεων στις χώρες μέλη της ΕΕ κατά την δεκαετία 1990-2000, είναι η άσκηση μέτρων και περιβαλλοντικής πολιτικής στις βιομηχανίες παραγωγής ενέργειας, στην χρήση ενέργειας από τις βιομηχανίες και στο κυκλοφοριακό.

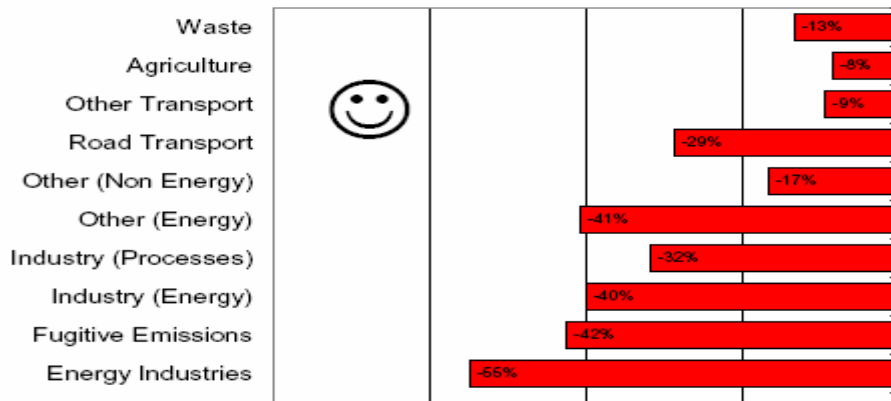
Γενικότερα μπορούμε να πούμε ότι μέτρα που εφαρμόστηκαν, όπως η αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων με καύσιμα μικρότερης περιεκτικότητας σε θείο και χρήση καταλυτών στα οχήματα, αλλά και η χρήση φίλτρων στις βιομηχανίες είχαν ως αποτέλεσμα την συγκράτηση εκπομπών σωματιδίων PM10 και PM2.5, και κατά συνέπεια και άλλων πρωτογενών ρύπων που συμβάλουν στην παραγωγή δευτερογενών σωματιδίων. Ως παράδειγμα, το 1999, το 63% των πετρελαιοκίνητων οχημάτων στην ΕΕ είχε καταλύτες (EEA, 2002c), με μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ των χωρών μελών. Τα χαμηλότερα ποσοστά ήταν στην Ισπανία (34 %) και στην Φινλανδία (52 %), ενώ τα υψηλότερα παρατηρήθηκαν στο Λουξεμβούργο, στην Ολλανδία και στην Αυστρία (πάνω από 85 %).

Επιπρόσθετα, η αντικατάσταση του άνθρακα και του πετρελαίου, με το φυσικό αέριο, όπου η εφαρμογή αυτή είναι εφικτή, οι φιλικότερες περιβαλλοντικά τεχνολογίες στον τομέα της παραγωγής ενέργειας και της βιομηχανίας οδήγησαν στην μείωση των αέριων ρύπων και ειδικά των αιωρούμενων σωματιδίων.

Η δέσμη μέτρων στους τομείς αυτούς επέφερε μειώσεις στην εκπομπή των PM, κατά 55%, 40% και 29%, αντίστοιχα ανά τομέα παραγωγής ενέργειας, ενεργειακή κατανάλωση από βιομηχανίες και κυκλοφοριακό (περιλαμβάνοντας εκπομπές από

τροχοφόρα και μεταφορές). Οι εν λόγω μειώσεις και οι επιπρόσθετες μειώσεις σε κάθε τομέα, φαίνονται στο ακόλουθο Διάγραμμα 4.3.

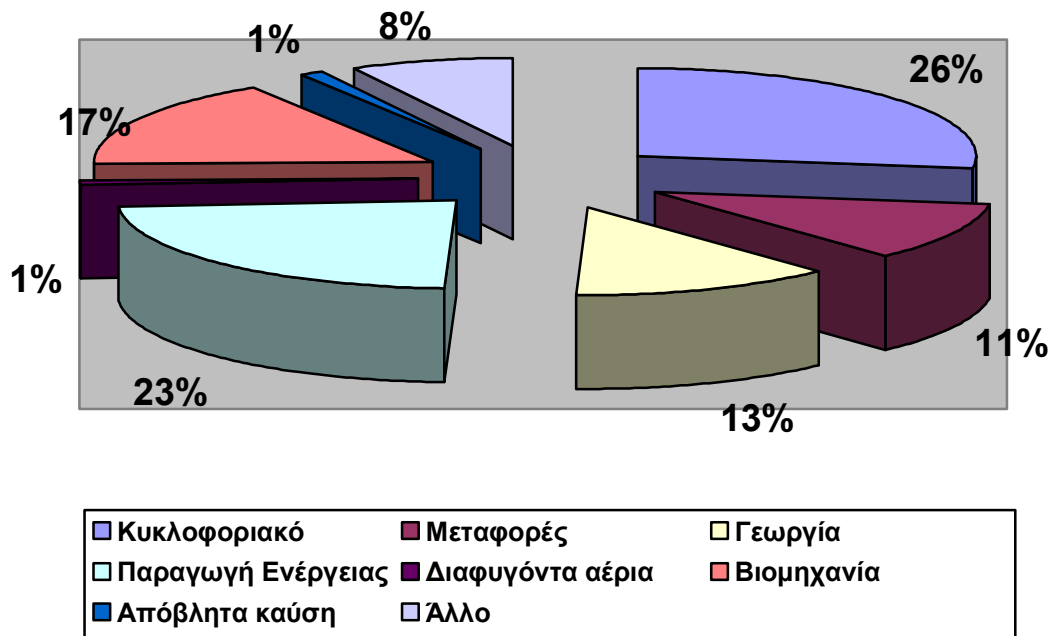
Διάγραμμα 4.3: Μεταβολές (%) στις πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων PM ανά τομέα εκπομπής



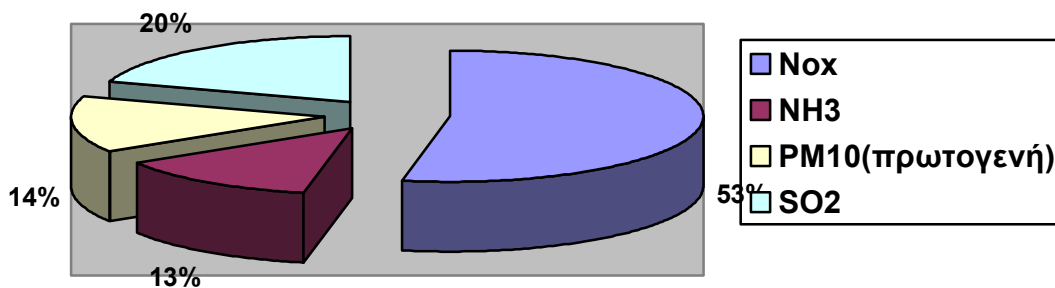
4.1.2 Σύσταση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στις Χώρες Μέλη της ΕΕ (1990-2001)

Η σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων καταδεικνύει και τις κύριες πηγές τους, από πού δηλαδή προέρχονται. Έτσι, μετά τις μειώσεις που επήλθαν, ανά τομέα, στα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων, στην Ευρώπη από το 1990 μέχρι και το 2001, οι πηγές για το 2001, διαμορφώνονται όπως απεικονίζεται στο ακόλουθα Διαγράμματα 4.3 και 4.4 αντίστοιχα (EEA Topic Report No 5/2002 *Emissions of atmospheric pollutants in Europe, 1990-1999*).

Διάγραμμα 4.4: Οι πηγές των PM (%) στις χώρες μέλη της ΕΕ κατά το 2001 (Πηγή: EEA/ETC-ACC, UNECE, EMEP, 2003)



Διάγραμμα 4.5: Η χημική σύσταση των εκπομπών των PM (%) στις χώρες μέλη της ΕΕ κατά το 2001



Για τις χώρες μέλη της ΕΕ για το διάστημα 1990 μέχρι και 2001, πρωταρχικός παράγοντας που συμβάλει περισσότερο από κάθε άλλο, στην παραγωγή πρωτογενών και δευτερογενών σωματιδίων **PM10** **τόρα είναι οι εκπομπές NOx που σχηματίζουν τα δευτερογενή PM10.** Αν και ο παράγοντας των μεταφορών παραμένει σημαντικός, έχει μειωθεί από το 1990 όπου εισήχθησαν οι καταλύτες σε πετρελαιοκίνητα οχήματα, και δεν αποτελεί πλέον τον κυρίαρχο παράγοντα εκπομπής. Πολύ σημαντικός παράγοντας εκπομπής είναι οι βιομηχανίες παραγωγής ενέργειας αλλά και η γεωργία.

4.2. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM ΣΤΙΣ ΥΠΟ ΕΝΤΑΞΗ ΣΤΗΝ ΕΕ ΧΩΡΕΣ (1990-2001)

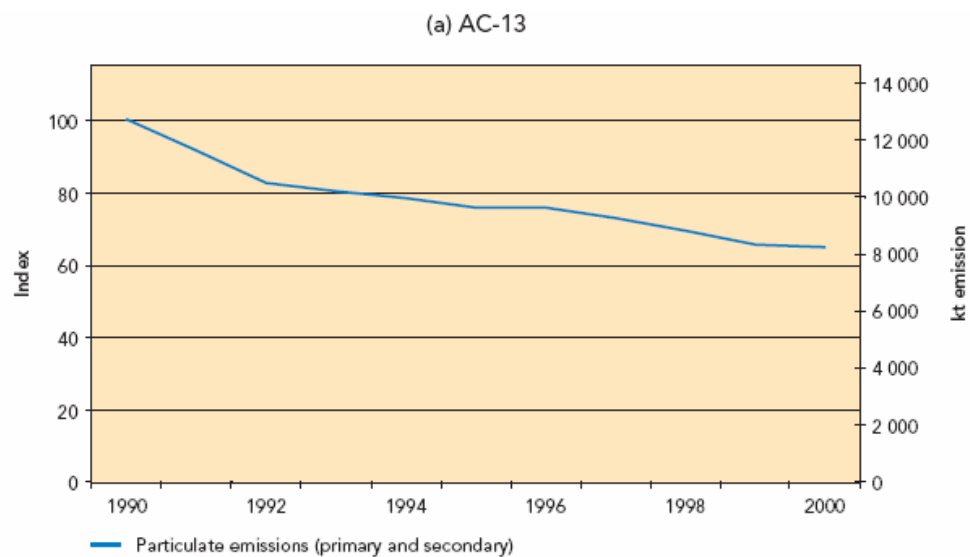
Κατά το χρονικό διάστημα 1990 – 2001, μετά από μετρήσεις σε δώδεκα χώρες υπό ένταξη στην ΕΕ, παρατηρήθηκε κάμψη στις εκπομπές των PM, συμπεριλαμβανομένων τόσο των πρωτογενών όσο και των δευτερογενών PM, κατά 38% περίπου.

Από τις δώδεκα χώρες οι εννέα κατάφεραν να μειώσουν τις εκπομπές τους σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25%, σε σχέση πάντα με το 1990. Μάλιστα, τέσσερις χώρες σημείωσαν πολύ μεγάλες μειώσεις, στα επίπεδα PM σε ποσοστό μεγαλύτερο του 60%. Οι χώρες αυτές είναι η Λιθουανία, η Τσεχία, η Λετονία και η Τσεχία.

Οι μοναδικές χώρες στις οποίες παρατηρήθηκε αύξηση των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η Κύπρος και η Τουρκία. Η Κύπρος στο διάστημα από το 1990 μέχρι και το 2001, σημείωσε αύξηση κατά 18%, ενώ η αντίστοιχη αύξηση στην Τουρκία, ήταν πολύ μεγαλύτερη, αφού έφτασε το 38%. Έτσι, διαμορφώθηκε ο μέσος όρος μείωσης στις υπό ένταξη χώρες στην ΕΕ, που φτάνει το 38%.

Στο Διάγραμμα 4.5, παρουσιάζεται η σταδιακή κάμψη των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων, κατά το χρονικό διάστημα που ξεκινά το 1990 και καταλήγει στο 2001. Οι συγκεντρώσεις είναι μετρημένες σε Κιλότονους (Kt), και αφορούν το σύνολο που εκπέμπεται ανά έτος, συνολικά σε συγκεκριμένες δεκαπέντε χώρες υπό ένταξη στην ΕΕ. Περιλαμβάνονται στις μετρήσεις που έλαβαν χώρα τόσο τα πρωτογενή όσο και τα δευτερογενή σωματίδια.

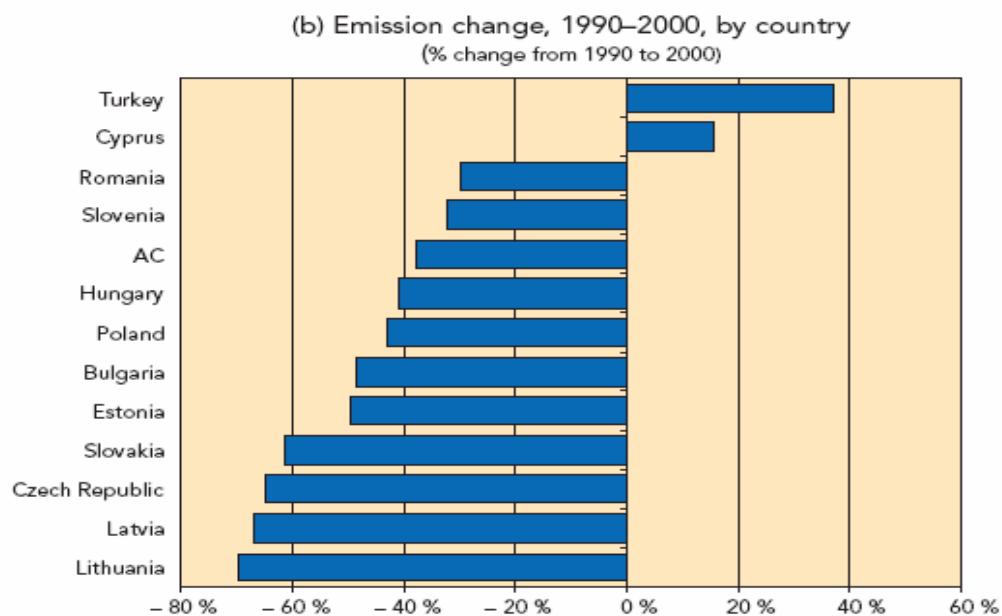
Διάγραμμα 4.6: Εκπομπές PM (Πρωτογενή & Δευτερογενή) σε 12 Χώρες Υπό Ένταξη στην ΕΕ



Οι

συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων ανά χώρα, και κατά συνέπεια οι ποσοτικές μεταβολές που παρουσιάζει η κάθε υπό ένταξη χώρα, κατά το διάστημα 1990-2001, φαίνονται στο Διάγραμμα 4.6. Στο Διάγραμμα αυτό παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις της κάθε χώρας, και οι μεταβολές της, ως μέσος όρος κατά τη διάρκεια της δεκαετίας που εξετάζουμε. Στο ίδιο Διάγραμμα παρουσιάζεται και η μεταβολή των PM όλων των υπό ένταξη χωρών, ως μία ομάδα με βάση τον μέσο όρο τιμών των χωρών αυτών. Στο Διάγραμμα ο μέσος όρος των υπό ένταξη χωρών ΕΕ, συμβολίζεται ως AC (Accession Countries).

Διάγραμμα 4.7: Μεταβολή Εκπομπών PM στις Υπό Ένταξη Χώρες στην ΕΕ, κατά το 1990-2001 (ΠΗΓΗ: ΕΕΑ/ETC-ΑΑC, 2003)



4.2.1 Παράγοντες Μείωσης Εκπομπών Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στις Υπό Ένταξη στην ΕΕ Χώρες (1990-2001)

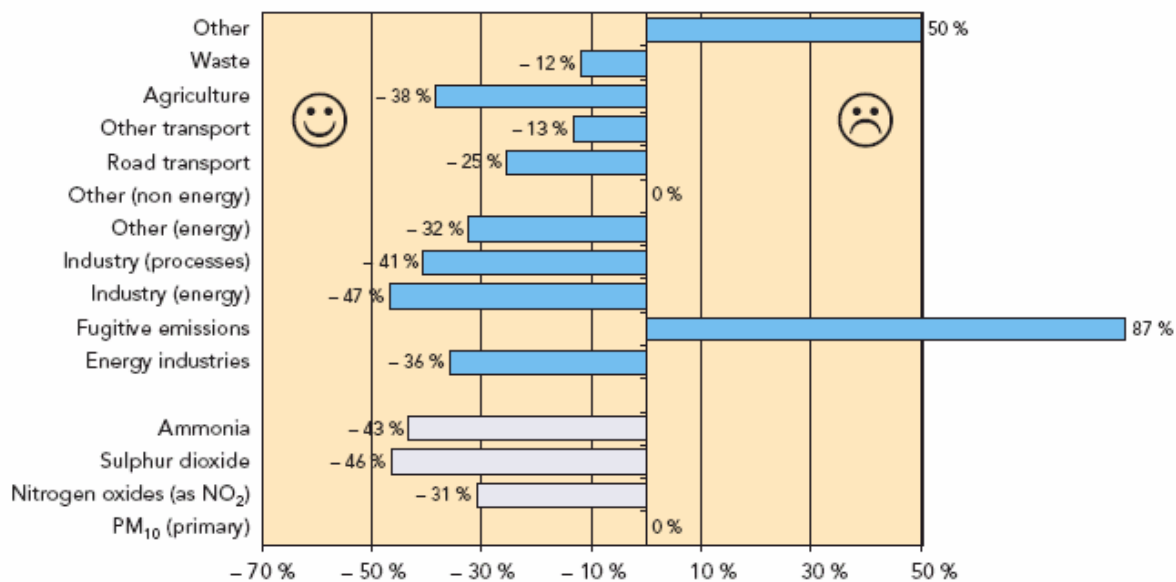
Οι κύριοι λόγοι μείωσης των συγκεντρώσεων στις υπό ένταξη χώρες στην ΕΕ κατά την δεκαετία 1990-2000, είναι η όποια εφαρμογή μέτρων και άσκηση περιβαλλοντικής πολιτικής. Μέτρα που εφαρμόστηκαν, όπως η αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων με καύσιμα μικρότερης περιεκτικότητας σε θείο και χρήση καταλυτών στα οχήματα, αλλά και χρήση φίλτρων στις βιομηχανίες είχαν ως αποτέλεσμα την

συγκράτηση εκπομπών σωματιδίων PM10 και PM2.5, και κατά συνέπεια και άλλων πρωτογενών ρύπων που συμβάλουν στην παραγωγή δευτερογενών σωματιδίων.

Ένα συγκεκριμένο μέτρο για την μείωση της αέριας ρύπανσης και ειδικότερα για την μείωση των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων ήταν και η χρήση καταλυτών στα τροχοφόρα. Έτσι, μέχρι το 1996, το μερίδιο των οχημάτων που απέκτησε καταλύτες στις υπό ένταξη χώρες, ως μέση τιμή, ήταν μόλις το 7.7 % όταν το αντίστοιχο ποσοστό στις χώρες μέλη της ΕΕ ήταν 63% (EEA, 2002c). Ενδεικτικό είναι ότι το χαμηλότερο ποσοστό στις υπό ένταξη χώρες σημειώθηκε στη Ρουμανία με 0.2 %, με αντίστοιχο χαμηλότερο ποσοστό στις χώρες μέλη στην Ισπανία με 34%. Μάλιστα, τα υψηλότερα ποσοστά των υπό ένταξη χωρών (Σλοβακία, Τσεχία και Ουγγαρία με 11%, 12% και 14 % αντίστοιχα), είναι πολύ χαμηλότερα, από το χαμηλότερο ποσοστό της ΕΕ, στην Ισπανία (34%).

Το γεγονός αυτό αντανακλά την κατάσταση που επικρατούσε στην ΕΕ κατά το 1990, καταδεικνύοντας μία μεγάλη καθυστέρηση στην εισχώρηση τεχνολογίας στις υπό ένταξη χώρες της τάξεως των έξι ετών. Αλλαγές μετά το 1996, δεν παρουσιάστηκαν σε μεγάλο βαθμό.

Διάγραμμα 4.8: Μεταβολές (%) στις πηγές των αιωρούμενων σωματιδίων PM ανά τομέα εκπομπής



Παρά την καθυστέρηση στην διείσδυση περιβαλλοντικών τεχνολογιών και εφαρμογών, διαπιστώθηκαν οι προαναφερόμενες μειώσεις στις εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων. Βέβαια, ανάλογα με την βαθμό άσκησης περιβαλλοντικής πολιτικής ανά τομέα, είχαμε και την αντίστοιχη μείωση εκπομπών από τον κάθε τομέα. Έτσι, οι μεταβολές των εκπομπών ανά δραστηριότητα, στις υπό ένταξη χώρες απεικονίζονται στο Διάγραμμα 4.7. Έτσι, η δέσμη μέτρων σε συνδυασμό με τις φιλικότερες περιβαλλοντικά τεχνολογίες στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, της βιομηχανίας και των πρακτικών τους οδήγησαν στη μείωση των αέριων ρύπων από τους τομείς αυτούς κατά σημαντικά ποσοστά, μεγαλύτερα από 36%. Επιπρόσθετα, παρά την καθυστέρηση στην εφαρμογή καταλυτών, και στον τομέα των μεταφορών και του κυκλοφοριακού, σημειώθηκε μείωση εκπομπών PM από τον συγκεκριμένο παράγοντα κατά 25%. Οι αυξητικές τάσεις, και μάλιστα σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%, προέρχονται από διαφυγούσες εκπομπές αερίων αλλά και από άλλες πηγές που δεν μπορούν να καθοριστούν λόγω απουσίας συστηματικών μετρήσεων, σε σχέση με

τις αντίστοιχες μετρήσεις και παρακολούθηση του φαινομένου της αέριας ρύπανσης που γίνεται στις χώρες μέλη της ΕΕ.

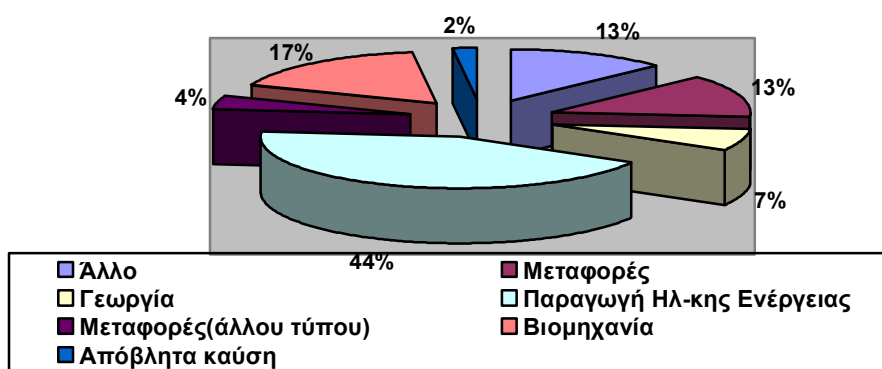
4.2.2 Σύσταση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στις Υπό Ένταξη στην ΕΕ Χώρες (1990-2001)

Σε αντίθεση με τις χώρες μέλη, στις υπό ένταξη χώρες ο πρωταρχικός παράγοντας, που συμβάλει περισσότερο από κάθε άλλο στην παραγωγή πρωτογενών και δευτερογενών σωματιδίων PM₁₀ είναι ο τομέας της βιομηχανίας παραγωγής ενέργειας. Ο συγκεκριμένος τομέας είναι υπεύθυνος για τις συνολικές εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων κατά 50%. Οι μεταφορές έχουν δευτερεύον ρόλο, εκπέμποντας μόλις το 13% των συνολικών συγκεντρώσεων των PM. Ο τομέας της γεωργίας καταλαμβάνει μόνο το 7% των συνολικών εκπομπών, μη έχοντας έτσι τόσο σημαντικό μερίδιο, όσο στις χώρες μέλη που ο τομέας αυτός έχει το διπλάσιο ποσοστό εκπομπών.

Έτσι, μετά τις μειώσεις που επήλθαν, ανά τομέα, στα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων, στις χώρες υπό ένταξη στην ΕΕ από το 1990 μέχρι και το 2001, οι πηγές για το 2001, διαμορφώνονται όπως απεικονίζεται στο ακόλουθο Διάγραμμα 4.8.

Διάγραμμα 4.9: Οι πηγές των PM (%) στις υπό ένταξη χώρες στην ΕΕ κατά το 2001

(Πηγή: ΕΕΑ/ETC-ACC, UNECE, EMEP, 2003)



4.3. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΜΕΛΗ & ΣΤΙΣ ΥΠΟ ΕΝΤΑΞΗ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ ΕΕ (2001-2004)

Σε πολλές πόλεις της ΕΕ τα επίπεδα των PM10 είναι πάνω από 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ως ετήσια μέση τιμή και 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ως ημερήσια μέση τιμή, που αποτελούν τιμές όρια που πρέπει να υιοθετηθούν μέχρι το 2005.

Στα αστικά κέντρα τα επίπεδα των PM10 τείνουν να είναι υψηλότερα στις χώρες της Νότιας, Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης και χαμηλότερα στις Σκανδιναβικές χώρες. Σε σημεία αστικών κέντρων που υπάρχει μεγάλο κυκλοφοριακό πρόβλημα και βιομηχανικά κέντρα, τα επίπεδα των PM10 που έχουν μετρηθεί είναι υψηλότερα κατά 40% σε σχέση με το επίπεδο σωματιδίων στο υπόλοιπο μέρος του αστικού κέντρου.

Κατά το 2001, οι τιμές όρια που έχουν τεθεί για να τηρηθούν μέχρι και το 2005 έχουν ξεπεραστεί κατά 34% σε περισσότερους από 700 σταθμούς μέτρησης που έχουν τοποθετηθεί σε όλη την Ευρώπη. Οι τιμές όρια που ισχύουν για το 24-ωρο υπερβαίνονται πιο συχνά σε σχέση με τις τιμές όρια που ισχύουν για την ετήσια μέση τιμή –όριο. Οι ενδεικτικές τιμές όρια για το 2010 (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 ως ετήσια μέση τιμή) έχουν ξεπεραστεί: σχεδόν οι μισοί από τους υπάρχοντες σταθμούς μέτρησης σε αγροτικές περιοχές έχουν καταγράψει υπερβάσεις των επιτρεπόμενων τιμών. Οι εκπομπές από τα πρωτογενή PM10 έχουν παρουσιάσει κάμψη.

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι τα επίπεδα συγκέντρωσης των PM10 παρουσιάζουν πτωτικές τάσεις, αλλά σε μερικά αστικά κέντρα της Νότιας και Κεντρικής Ευρώπης

βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα, πάνω από τα επιτρεπόμενα που ορίζει η Ευρωπαϊκή νομοθεσία.

Σε ότι αφορά τα σωματίδια διαμέτρου PM2.5, μετρώνται μικρότερο χρονικό διάστημα σε σχέση με τα μεγαλύτερης διαμέτρου PM10 και σε λιγότερους σταθμούς στην Ευρώπη.

Στον Πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα ποσοστά έκθεσης πληθυσμού τόσο των χωρών μελών της ΕΕ όσο και των υπό ένταξη χωρών, σε επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων, πάνω από το επιτρεπόμενο όριο που θέτει η ευρωπαϊκή νομοθεσία.

Πίνακας 4.1 Πληθυσμός που εκτίθεται σε αιωρούμενα σωματίδια σε χώρες μέλη της ΕΕ και σε χώρες υπό ένταξη στην ΕΕ. Ο πληθυσμός που εκτίθεται είναι εκφρασμένος επί τοις εκατό ο πληθυσμός που βρίσκεται εκτεθειμένος σε επίπεδα των σωματιδίων πάνω από το επιτρεπόμενο όριο.

<i>Χώρες ΕΕ</i>	<i>2001(%)</i>	<i>2002(%)</i>	<i>2003(%)</i>
Βέλγιο	9,1	0,0	1,0
Δανία			0,0
Γερμανία	2,9	36,2	40,0
Ελλάδα			100,0
Ισπανία	100,0	97,6	81,0
Γαλλία			2,0
Ιρλανδία			0,0
Ιταλία		100,0	91,0
Λουξεμβούργο			
Ολλανδία	100,0	95,6	65,0
Αυστρία		0,0	54,0
Πορτογαλία	100,0	100,0	100,0
Φινλανδία	0,0	0,0	0,0

Σουηδία		56,0	64,0
Μεγάλη Βρετανία	0,0	0,0	0,0
Ισλανδία		1,0	
Βουλγαρία		100,0	0,0
Τσεχία	88,7	68,3	73,0
Εσθονία			0,0
Ουγγαρία		100,0	100,0
Πολωνία	100,0	100,0	100,0
Σλοβακία		100,0	89,0
Σλοβενία			100,0
ΕΕ μέλη 15	17,0	36,2	33,0
ΠΗΓΗ: EUROSTAT, 2004			

4.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΕ

Η ΕΕ εφαρμόζει συγκεκριμένη περιβαλλοντική πολιτική για την προστασία της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Στα πλαίσια του σχεδιασμού αυτής της πολιτικής υπάρχει και το πρόγραμμα “**Clean Air For Europe**” (CAFE). Το συγκεκριμένο πρόγραμμα εξετάζει την αναγκαιότητα και τον σκοπό που εξυπηρετεί η εφαρμογή νέων, επιπρόσθετων περιβαλλοντικών μέτρων καθώς επίσης και το κατά πόσο είναι συμφέρουσα η εφαρμογή τους από οικονομική άποψη, για την εναρμόνιση με τους μακροπρόθεσμους στόχους που θέτει η περιβαλλοντική νομοθεσία της ΕΕ.

Για την δημιουργία μίας βάσης στην οποία θα στηρίζεται η μελλοντική περιβαλλοντική πολιτική το πρόγραμμα συγκεντρώνει πληροφορίες σε ότι αφορά την πιθανή μελλοντική ανάπτυξη της αέριας ρύπανσης στην ΕΕ, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση όλων των θεσπισμένων μέτρων σε συνδυασμό με την μελλοντική οικονομική ανάπτυξη που αναμένεται σε κάθε χώρα. Με την παρέμβαση όλων των σημαντικότερων

Ευρωπαϊκών φορέων το πρόγραμμα CAFE συνδυάζει την κοινή γνωσιολογική βάση που θα οδηγήσει την δημιουργία και ανάπτυξη της μελλοντικής πολιτικής και των προτάσεων που θα την διέπουν με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στην Ευρώπη.

Με βάση τους υπολογισμούς του μοντέλου **RAINS**, στα πλαίσια του προγράμματος CAFE, και τα δεδομένα σε οικονομικό, ενεργειακό και κυκλοφοριακό επίπεδο, γίνεται εκτίμηση των εκπομπών των PM10 και PM2.5, μέχρι και το έτος 2010. Το μοντέλο και οι εκτιμήσεις έγιναν στα πλαίσια των διαπραγματεύσεων του Πρωτοκόλλου της Οικονομικής Επιτροπής Ηνωμένων Εθνών (UNECE) για λογαριασμό της ΕΕ (Amann *et al.*, 1999). Έχουν γίνει συγκεκριμένες παραδοχές για την λειτουργία του μοντέλου.

Μία από τις σημαντικότερες παραδοχές αποτελεί ότι η περιβαλλοντική πολιτική της Δυτικής Ευρώπης, αναφορικά με τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, τους βιομηχανικούς καυστήρες και τις διαδικασίες εκπομπών δεν παρουσιάζει μεταβολές από το 1990 μέχρι και το 2010. Με άλλα λόγια θεωρείται ως δεδομένο ότι δεν υπάρχει καμία εξέλιξη στον τομέα της περιβαλλοντικής διαχείρισης μέχρι και το 2010, αλλά παραμένει στα επίπεδα του 1990. Για τις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, θεωρείται ότι οι εκπομπές τους φθάνουν τα επίπεδα της Δυτικής Ευρώπης.

Έτσι, στις παραδοχές των σεναρίων του προγράμματος CAFE, λαμβάνεται υπόψη ότι η πολιτική που αφορά στον έλεγχο και στην διαχείριση των αιωρούμενων σωματιδίων στον Ευρωπαϊκό χώρο από το 1990 ως και το 2010, περιλαμβάνει μία σειρά μέτρων :

□ Νομοθεσία της ΕΕ για τις Μεγάλες Μονάδες Καύσης

- ❑ **Auto/Oil EURO Πρότυπα για τα Μεγάλα Φορτηγά**
- ❑ **Νομοθεσία της ΕΕ για τα Οχήματα**
- ❑ **Νομοθεσία IPPC (Integrated Pollution Prevention & Control)**
- ❑ **Εθνική Νομοθεσία & Εθνικές Πρακτικές**

Με την συμβολή των μέτρων που προαναφέρονται, οι εκπομπές των πρωτογενών PM10 από σταθερές πηγές καύσης καυσίμων αναμένεται να μειωθούν αισθητά στο άμεσο μέλλον. Οι εκπομπές από κινητές πηγές θα έχουν και αυτές πτωτικές τάσεις όχι όμως στο βαθμό που θα έχουν και από τις σταθερές πηγές.

Συνολικά, εκτιμάται ότι κατά το διάστημα από το 2000 μέχρι και το 2010 οι εκπομπές των PM10 θα μειωθούν κατά 24% σε 15 χώρες μέλη της ΕΕ και παραπάνω από 40% στις υπό ένταξη χώρες στην ΕΕ. Για το 2020 οι συνολικές εκπομπές των πρωτογενών PM10 θα είναι κατά 34% μειωμένες στις 15 χώρες μέλη της ΕΕ και 34% στις υπό ένταξη χώρες στην ΕΕ.

Πίνακας 4.2: Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM10 (Kt), κατά το 2000 και το 2010 στις χώρες μέλη της ΕΕ

ΧΩΡΕΣ	2000	2010
Αυστρία	49	43
Βέλγιο	70	50
Δανία	33	27
Φινλανδία	44	38
Γαλλία	373	285
Γερμανία	260	224
Ελλάδα	66	68

Ιρλανδία	22	18
Ιταλία	273	184
Λουξεμβούργο	4	4
Ολλανδία	58	51
Πορτογαλία	59	49
Ισπανία	234	163
Σουηδία	79	58
Μ. Βρετανία	202	133
Σύνολο ΕΕ15	1823	1396

Πίνακας 4.3: Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM10 (Kt), κατά το 2000 και το 2010 στις χώρες υπό ένταξη στην ΕΕ

<i>ΧΩΡΕΣ</i>	<i>2000</i>	<i>2010</i>
Κύπρος	3	3
Τσεχία	104	47
Εσθονία	42	19
Ουγγαρία	87	38
Λετονία	10	8
Λιθουανία	21	19
Μάλτα	1	1
Πολωνία	305	210
Σλοβακία	29	23
Σλοβενία	21	14
Σύνολο ΕΕ25	2445	1775

Σε ότι αφορά τα PM2.5 και τις εκπομπές τους, αν και δεν έχουν ληφθεί τα μέτρα που έχουν ήδη ληφθεί για τα PM10, οι εκπομπές τους αναμένεται να μειωθούν ως αποτέλεσμα της μείωσης που θα παρουσιάζουν οι άλλοι αέριοι ρύποι και οι οποίοι συμβάλλουν στον σχηματισμό των αιωρούμενων σωματιδίων.

Για τις 15 χώρες μέλη της ΕΕ οι εκπομπές των PM2.5 αναμένονται σε χαμηλότερα επίπεδα κατά 30% το 2010, σε σχέση με τα αντίστοιχα του 2000 και 41% χαμηλότερα το 2020, και πάλι σε σχέση με το 2000. Σε ότι αφορά τις υπό ένταξη χώρες οι μειώσεις που αναμένονται κατά το 2010 και το 2020 είναι 38% και 56%, αντίστοιχα.

Πίνακας 4.4: Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM2.5 (Kt), κατά το 2000 και το 2010 στις χώρες μέλη της ΕΕ

<i>ΧΩΡΕΣ</i>	<i>2000</i>	<i>2010</i>
Αυστρία	37	31
Βέλγιο	43	29
Δανία	22	17
Φινλανδία	36	31
Γαλλία	290	205
Γερμανία	171	137
Ελλάδα	49	50
Ιρλανδία	14	12
Ιταλία	209	132
Λουξεμβούργο	3	3
Ολλανδία	36	28
Πορτογαλία	46	39
Ισπανία	169	112

Σουηδία	67	48
Μ. Βρετανία	129	80
Σύνολο ΕΕ15	1324	995

Πίνακας 4.5: Εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων PM2.5 (Κt), κατά το 2000 και το 2010 στις χώρες υπό ένταξη στην ΕΕ

ΧΩΡΕΣ	2000	2010
Κύπρος	2	2
Τσεχία	66	30
Εσθονία	22	13
Ουγγαρία	60	27
Λετονία	7	6
Λιθουανία	17	15
Μάλτα	1	0
Πολωνία	215	149
Σλοβακία	18	23
Σλοβενία	15	10
Σύνολο ΕΕ25	1749	1222

Οι παράγοντες που εντείνουν στη μείωση των εκπομπών των αιωρούμενων σωματιδίων δεν είναι άλλοι από τη νομοθεσία και την εφαρμογή τεχνολογίας σε σταθερές πηγές (κυκλώνες, υφασμάτινα φίλτρα και ιδιαίτερα έκπλυση και ηλεκτροστατική καθίζηση), αλλαγές στην ποιότητα καυσίμων στα τροχοφόρα (μείωση σε περιεκτικότητα θείου και

μόλυβδου), αλλαγές στο σχεδιασμό μηχανής των τροχοφόρων και στις εξατμίσεις τους, και αλλαγές στα καύσιμα οικιακής θέρμανσης.

Η εφαρμογή τεχνολογιών που έχουν ως στόχο τον έλεγχο των εκπομπών αέριων και σωματιδιακών ρύπων καθώς και οι συνεχόμενες αλλαγές στη σύσταση-σύνθεση κατηγοριών πηγών εκπομπής αλλάζουν τους κύριους φορείς εκπομπής PM_{2.5}. Έτσι, συνολικά το μερίδιο των τροχοφόρων αναμένεται να μειωθεί από το ένα τρίτο σε 20%.

Η εφαρμογή του προγράμματος **Euro-V** για τα οχήματα βαρέως τύπου (HDV) θα προκαλέσει μείωση της συμβολής από εξατμίσεις αυτής της κατηγορίας από 7% το 2000, σε 1% το 2020. Το μερίδιο των εκπομπών από εξατμίσεις ντίζελ επιβατικών αυτοκινήτων υπολογίζεται να μειωθεί από 12% το 2010, σε 6% το 2020, ενώ οι εκπομπές από πηγές που δεν σχετίζονται με τροχοφόρα αλλά είναι κινητές πηγές αναμένεται να αυξηθούν κατά 9%. Συνολικά οι κυριότερες πηγές των PM_{2.5} θα είναι οι οικιακοί καυστήρες κατά 38%, και οι βιομηχανικές πρακτικές κατά 28%.

4.5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Είναι καθοριστικής σημασίας επισήμανση για την εργασία αυτή, αλλά και για κάθε μελέτη που αφορά στις συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, στην Ελλάδα ο συνολικός χρόνος μετρήσεων σε σχέση με άλλες χώρες μέλη της ΕΕ. Με άλλα λόγια, στην Ελλάδα, όπως επισημαίνουν οι ερευνητές, δεν υπάρχουν συστηματικές και ταυτόχρονες μετρήσεις για μεγάλο διάστημα, έτσι ώστε να γίνει εφικτή η αξιολόγηση της επίδρασης των πηγών και να εκτιμηθεί η επιβάρυνση της Αθήνας και των άλλων ελληνικών πόλεων, σε σχέση με άλλες χώρες όπου γίνονται μετρήσεις από το 1990.

Παρόλα αυτά, από τις μετρήσεις που έχουν γίνει ήδη στον ελληνικό χώρο και στις άλλες χώρες μέλη, προκύπτει ότι οι μόνες χώρες μέλη που παρουσιάζουν σημαντική αύξηση στις εκπομπές PM10, είναι η Ελλάδα και η Πορτογαλία από το 1990 μέχρι και σήμερα (European Commission, 1996, *Air Quality Report of the Auto-Oil Programme Report of Subgroup*). Εκτενή αναφορά στα συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ των χωρών μελών της ΕΕ έχει γίνει στην Παράγραφο 4.1.

Πίνακας 4.6: Ετήσιες μέσες συγκεντρώσεις πρωτογενών και δευτερογενών PM10 στην Ελλάδα κατά το διάστημα 1990-2004.

Έτος	Συγκεντρώσεις PM10 (μέση ετήσια συγκέντρωση σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1990	51
1991	53.2
1992	53.6
1993	53.4
1994	52.4
1995	54
1996	53.4
1997	53.2
1998	55.6
1999	55.4
2000	52.5
2001	53.5
2002	53
2003	56.6

Συγκεκριμένα, η Ελλάδα κατέχει αρνητικό ρεκόρ όσον αφορά τις συγκεντρώσεις μικροσωματιδίων (PM10). Μάλιστα έξι ελληνικές πόλεις βρίσκονται μέσα στην πρώτη δεκάδα των ευρωπαϊκών πόλεων που τις περισσότερες ημέρες του χρόνου οι ρύποι των μικροσωματιδίων στην ατμόσφαιρά τους ξεπερνούν τα όρια που θέτει η περιβαλλοντική νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Την πρώτη θέση κατέχει η Θεσσαλονίκη, δεύτερη έρχεται η Αθήνα, ενώ ακολουθούν η Λάρισα και η Πάτρα στην τρίτη και τέταρτη θέση, αντίστοιχα. Στην όγδοη θέση βρίσκονται τα Ιωάννινα και στη δέκατη το Ηράκλειο.

Στον Πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι δέκα πρώτες πόλεις στην ΕΕ, με τα υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων PM10. Η ταξινόμηση των πόλεων έγινε με βάση τον αριθμό ημερών ανά έτος, κατά το οποίο η μέση συγκέντρωση των PM10, ξεπερνά το επίπεδο που προβλέπεται από την περιβαλλοντική νομοθεσία της ΕΕ, δηλαδή των 50μg/m³.

Πίνακας 4.7: Πόλεις της ΕΕ με τα υψηλότερα επίπεδα PM10, ανά έτος (Πηγή: GREENPEACE, 2001)

ΠΟΛΕΙΣ ΕΕ	Αριθμός ημερών/έτος με μέση συγκέντρωση PM10>50μg/m ³
Θεσσαλονίκη	208
Αθήνα	174
Λάρισα	151
Πάτρα	138
Λιέγη (Βέλγιο)	132
Πόρτο (Πορτογαλία)	109

Κοϊμπρα (Πορτογαλία)	99
Ιωάννινα	95
Μάντσεστερ (Μεγάλη Βρετανία)	71
Ηράκλειο	69

Σε άλλη έρευνα που διεξήχθη κατά το χρονικό διάστημα 2002-2004 από το **Ινστιτούτο Ερευνών, Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης του Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΙΕΠΒΑ)**, μετρήθηκαν διαφορετικών μεγεθών αιρούμενων σωματιδίων, τόσο των PM10 όσο και των PM2.5. Μάλιστα, **πρώτη φορά μετρήθηκε η μάζα αιωρούμενων σωματιδίων διαφορετικών μεγεθών και για χρονική διάρκεια μεγαλύτερη από δύο χρόνια.**

Σε επίπεδα υψηλότερα κατά 12% (!) από τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια των 50 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα, που ισχύουν στην ΕΕ, βρίσκονται τα αιωρούμενα σωματίδια στην Αθήνα. Το **2001** τα αιωρούμενα σωματίδια στον αέρα της Αθήνας ήταν στα όρια των **50** μικρογραμμάρια. Από τότε, όμως, παρατηρήθηκε ετήσια αύξηση της τάξης των 3 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα, την περίοδο ακριβώς που έπρεπε να μειώνεται η συγκέντρωσή τους ώστε να πληρούνται οι κοινοτικές επιταγές. Έτσι, το **2002** η μέση ετήσια συγκέντρωση στην ίδια περιοχή ήταν **53** μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο. Κατά το **2004** η ημερήσια συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM10 στο κέντρο της Αθήνας κυμαίνεται από 8,4 έως και 158,6 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο αέρα, με μέση ετήσια συγκέντρωση τα **56,6**.

Πίνακας 4.8: Μέσες Ετήσιες Συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) PM10 στην περιοχή της Αθήνας

Έτος	Τιμή PM10 (μέση ετήσια συγκέντρωση σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2001	52,12
2002	53
2003	56,6

Από τις παραπάνω μετρήσεις στα πλαίσια ερευνών καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι «Η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα επιβαρημένη και απαιτούνται άμεσα μέτρα ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα, το οποίο επικεντρώνεται σε εκπομπές από βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα» όπως επισημαίνει και ο Ηλ. Κάβουρας (ΙΕΠΒΑ).

4.5.1 Σύγκριση των συγκεντρώσεων PM μεταξύ της Ελλάδας, των χωρών μελών της ΕΕ και των υπό ένταξη χωρών στην ΕΕ

Το μέλος της ερευνητικής ομάδας του ΙΕΠΒΑ Ηλίας Κάβουρας επισημαίνει ότι οι συγκεντρώσεις τόσο των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 10 μικρόμετρα (PM10), όσο και εκείνων με διάμετρο μικρότερη από 2,5 μικρόμετρα (PM2.5) - που είναι και τα πιο επικίνδυνα-, είναι από τις μεγαλύτερες που έχουν μετρηθεί. Και αυτό σε σχέση με τα αστικά κέντρα των χωρών της Βορειοδυτικής Ευρώπης και της Β. Αμερικής. Είναι, ωστόσο, συγκρίσιμα ή σε χαμηλότερες τιμές από εκείνες που μετρήθηκαν σε πόλεις της Κεντρικής και της Ανατολικής Ευρώπης.

4.5.2 Παράγοντες Αύξησης Εκπομπών Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στην Ελλάδα

Για τα αυξημένα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων στην Αθήνα την τελευταία τριετία οι ερευνητές εικάζουν ότι έπαιξε ρόλο η **αλλαγή του κυκλοφοριακού χάρτη λόγω της εκτέλεσης έργων**, που υποχρέωναν τα οχήματα σε αργή κίνηση, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη εκπομπή καυσαερίων. Η κατάσταση επιβαρύνθηκε και από **την κυκλοφορία πολλών βαρέων οχημάτων, λόγω έργων**.

Επιπλέον, η απουσία ελέγχων από τις αρμόδιες υπηρεσίες σε όλα τα οχήματα και ιδιαίτερα στα βαρέα οχήματα επιδεινώνει την υπάρχουσα κατάσταση. Ενδεικτικό της κατάστασης είναι ότι από τα αποτελέσματα των ελέγχων του ΠΕΡΠΑ, θα διαπιστώσει πως πάνω από το 1/3 των οχημάτων δε διαθέτει καν Κάρτα Ελέγχου Καυσαερίων (παρότι είναι υποχρεωτική από το νόμο), ενώ πολλά από τα ελεγχόμενα οχήματα είναι εκτός ορίων. Σε ότι αφορά μάλιστα τα ταξί (η συντριπτική πλειοψηφία των οποίων είναι πετρελαιοκίνητα), τα «εκτός ορίων» είναι το ένα τέταρτο του στόλου. Όπως επισημαίνει μάλιστα το ΠΕΡΠΑ, ακόμη και τα πετρελαιοκίνητα ταξί νέας τεχνολογίας εκπέμπουν εξαιρετικά υψηλά επίπεδα καπνού (ΠΕΡΠΑ, 2002, Τμήμα Αυτοκινήτων και Εξωτερικών Καύσεων - Απολογιστική Έκθεση 1996-2001, ΥΠΕΧΩΔΕ). Στην Αθήνα, το μεγαλύτερο μέρος των μικροσωματιδίων προέρχεται από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα (ταξί, λεωφορεία, φορτηγά).

Πίνακας 4.9 : Οχήματα χωρίς Ισχύουσα Κάρτα Ελέγχου Καυσαερίων

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	1996	1997	1998	1999	2000	2001
ΦΟΡΤΗΓΑ	10,50	37,67	16,04	16,30	19,33	34,29
ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΑ	8,76	31,24	26,80	26,38	20,48	31,31
ΑΡΡΥΘΜΙΣΤΟΣ	6,88	34,84	25,00	26,32	31,37	42,86
ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΠΑΛΑΙΑ	9,41	38,63	28,31	28,94	26,31	36,08

ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΑ	10,31	40,77	26,91	29,01	26,40	35,09
ΤΑΞΙ	12,77	16,79	14,48	19,22	14,58	30,29

Πίνακας 4.10: Εκπομπές Οχημάτων Εκτός Ορίων (%)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	1996	1997	1998	1999	2000	2001
ΦΟΡΤΗΓΑ- ΛΕΩΦΟΡΕΙΑ	20,85	10,70	5,53	3,09	0,42	2,00
ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ Ε.Ι.Χ. ΠΑΛΑΙΑ	29,19	31,06	25,71	23,97	23,73	26,58
ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ Ε.Ι.Χ. ΚΑΙΝΟΥΡΓΙΑ	30,37	29,27	20,74	22,48	24,40	26,82
ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΑ Ε.Ι.Χ. (ρυθμιζόμενος)	9,15	9,84	6,74	6,60	4,59	5,12
ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΑ Ε.Ι.Χ. (αρρύθμιστος)	13,23	7,30	33,3	26,32	37,25	30,61
ΤΑΞΙ	52,13	44,04	39,31	42,35	28,75	22,31

“Η αυξημένη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, καθώς και η νοθεία στο πετρέλαιο είναι οι δύο κυριότεροι λόγοι για τους οποίους δεν μπορεί να επιτραπεί αυτήν τη στιγμή η κυκλοφορία πετρελαιοκίνητων Ι.Χ. στις δύο μεγαλύτερες ελληνικές πόλεις” (Ημερίδα για την πετρελαιοκίνηση από ECOCITY σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Αθηνών, το Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και την Εθνική Σχολή Δημόσιας Υγείας).

4.5.3 Σύσταση Αιωρούμενων Σωματιδίων PM στην Ελλάδα

«Ενώ γνωρίζουμε πλέον από τη μελέτη μας ότι οι συγκεντρώσεις των σωματιδίων αυξάνονται και έχουν ήδη ξεπεράσει όλες τις οριακές τιμές, δεν μας είναι ακόμη γνωστό πόσο συμμετέχει η κάθε πηγή ρύπανσης», επισημαίνει ο Ηλ. Κάβουρας. Προσθέτει επίσης ότι «το μείγμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με το οποίο ερχόμαστε σε επαφή καθημερινά, αποτελείται από τους κλασικούς αέριους ρύπους (όζον, οξείδια του αζώτου κλπ.) αλλά και από τα αιωρούμενα σωματίδια το μέγεθος και το χημικό περιεχόμενο των οποίων προσδίδει σ' αυτό το μείγμα επικίνδυνες για τη δημόσια υγεία διαστάσεις».

Σύμφωνα με τη μελέτη του ΙΕΠΒΑ, **το 45% των αιωρούμενων σωματιδίων στην Αθήνα είναι τα μικρά σωματίδια, που συνδέονται με ανθρωπογενείς δραστηριότητες**, και είναι πιο εύκολο να μειωθούν σε σύγκριση με τα σωματίδια μεγαλύτερης διαμέτρου, στην παραγωγή των οποίων συμμετέχουν και φυσικές πηγές (κλίμα κλπ).

5.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Η έκθεση στην αέρια ρύπανση έχει συνδεθεί άμεσα με ένα μεγάλο εύρος δυσλειτουργιών στην υγεία, χρόνιων ή μη. Με βάση τα ιστορικά γεγονότα που παρατέθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 2.2), υπήρχαν, ιδιαίτερα από το 1945 και έπειτα, σοβαρότατες ενδείξεις επίδρασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία. Πιο συγκεκριμένα, στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη, από το 1950 και μετά οι ιατρικές ενδείξεις επιπτώσεων στην υγεία από την έκθεση στην αέρια ρύπανση, και στα επόμενα χρόνια, από τα αιωρούμενα σωματίδια, αυξάνουν όλο και περισσότερο. Το κάθε επεισόδιο ρύπανσης συνοδεύεται από μία σειρά γεγονότων που σχετίζονται με έξαρση στην ανθρώπινη υγεία. Τα γεγονότα αυτά συμπεριλάμβαναν από εισαγωγές ατόμων σε νοσοκομεία με συγκεκριμένα προβλήματα υγείας, μέχρι θανάτους (American Thoracic Society (ATS), 1996a,b). Έτσι, το μεγαλύτερο κίνητρο για την επίλυση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ήταν η αποκατάσταση της ανθρώπινης υγείας.

Με την έντονη παρουσία των προαναφερόμενων ενδείξεων επιπτώσεων στην υγεία, τάχθηκε επιτακτική η ανάγκη για την πραγματοποίηση μίας σειράς ερευνών. Οι έρευνες αυτές ξεκίνησαν με απώτερο σκοπό την διαπίστευση της επίδρασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία, σε πρώτο επίπεδο και σε δεύτερο επίπεδο, του τρόπου και της τάξης της επίδρασης που έχει ο κάθε αέριος ρύπος στην υγεία. Οι έρευνες ξεκίνησαν χρονολογικά το 1950, αρχικά στις ΗΠΑ. Η σειρά αυτού του τύπου ερευνών συνεχίστηκε και στην Ευρώπη.

Τα στοιχεία που προκύπτουν από τις έρευνες στις οποίες εξετάζεται η επίδραση των αέριων ρύπων στην ανθρώπινη υγεία, βασίζονται σε τρεις διαφορετικού τύπου μελέτες:

- κλινικές,
- επιδημιολογικές, και
- τοξικολογικές

Σε ότι αφορά τα Αιωρούμενα Σωματίδια PM10 και PM2.5, και την επίδρασή τους στην υγεία, οι ανάλογες μελέτες, ξεκίνησαν μόλις πριν από εννέα χρόνια, συγκεκριμένα το 1996, αφού οι μετρήσεις των επιπέδων εκπομπής τους ξεκίνησαν τότε.

Μία σειρά ερευνών, από τις πρώτες που έλαβαν χώρα, **συνδέει την σωματιδιακή ρύπανση των PM10 και PM2.5 με σοβαρές πνευμονικές και αναπνευστικές δυσλειτουργίες** (Douglas Dockery *et al.*, "Health Effects of Acid Aerosols on North American Children: Respiratory Symptoms," *Environmental Health Perspectives*, Vol. 104, No. 5 (1996), p. 503.), (U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Office of Air Quality Planning and Standards, *Review of National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Policy Assessment of Scientific and Technical Information*, Report No. EPA-452/R-96-013 (USEPA, Washington, D.C., 1996), pp. V-2-V-24, V-27-V-28, V-71.).

Υπάρχουν ακόμη αποτελέσματα ερευνών που καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η έκθεση των ανθρώπινων οργανισμών σε PM δεν περιορίζεται μόνο σε βλάβες του αναπνευστικού συστήματος, αλλά **συνεπάγεται και καρδιαγγειακές παθήσεις.**

Πρόσφατες έρευνες που αφορούν στις επιπτώσεις των PM στο καρδιαγγειακό σύστημα καταλήγουν στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- **Μείωση του αιματοκρίτη** σε ημέρες που έχουν παρατηρηθεί υψηλά επίπεδα PM (*Peters et al, 1997; no effect in Seaton et al 1999*)
- **Αυξημένη συχνότητα καρδιακής λειτουργίας** που σχετίζονται με υψηλά επίπεδα PM (*Stone & Godleski 1999, Peters et al, 1999, Pope et al. 1999*)
- Επίπτωση της έκθεσης σε PM στην **καρδιακή αρρυθμία** (*Peters et al, 2000*)

Πολυάριθμες μελέτες έχουν αποδείξει την **καρκινογόνο δράση** των αιωρούμενων σωματιδίων. Η δράση αυτή έχει αναγνωριστεί από επίσημους φορείς (National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH, International Agency for Research on Cancer - IARC, World Health Organization - WHO, US Environmental Protection Agency - EPA, κ.λπ) ήδη από το 1988. Εκδηλώνεται κυρίως ως καρκίνος των πνευμόνων και μπορεί να εμφανιστεί και σε επίπεδα ρύπων αντίστοιχα μ' αυτά που συναντώνται σε αστικά κέντρα. Πρόσφατες μελέτες στη Φινλανδία έδειξαν επίσης αυξημένες πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου των ωοθηκών σε γυναίκες που εκτίθενται συστηματικά σε καυσαέρια πετρελαιοκινητήρων (**Johannes Guo, Timo Kauppinen and others** (2004) Risk of oesophageal, ovarian, testicular, kidney and bladder cancers and leukaemia among Finnish workers exposed to diesel or gasoline engine exhaust, *International Journal of Cancer*, volume 111, issue 2, pages 286-292, 2004).

Η πιο σημαντική όμως επίπτωση των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία αφορά στη **μείωση του προσδόκιμου χρόνου ζωής** του μέσου πληθυσμού κατά ένα έτος ή και περισσότερο, όταν η έκθεση του οργανισμού σε αιωρούμενα σωματίδια αλλά και η

συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων είναι μεγάλη. Ένας σημαντικός αριθμός μελετών, **συνδέει την σωματιδιακή ρύπανση των PM10 και PM2.5 με την αύξηση της θνησιμότητας, δηλαδή τη μείωση του προσδόκιμου χρόνου ζωής κατά ένα έτος ή και περισσότερο** (WHO, Regional Office for Europe, *Health Aspects of Air Pollution*, June 2004). Μάλιστα, η συσχέτιση της αέριας ρύπανσης και της θνησιμότητας έχει γίνει με την διεξαγωγή δύο διαφορετικού τύπου επιδημιολογικών ερευνών.

- **Μελέτη κοόρτης** ή διαχρονικές μελέτες (**Cohort study**): μελετούν πολύ μεγάλους πληθυσμούς για μεγάλο χρονικό διάστημα – ετών- και συσχετίζουν τη θνησιμότητα με τη σωματιδιακή ρύπανση για το διάστημα αυτό. Τύπος μελέτης, κατά τον οποίο μια ομάδα ατόμων (‘κοόρτη’) παρακολουθείται για ένα χρονικό διάστημα, κατά τη διάρκεια του οποίου συλλέγονται πληροφορίες ως προς έναν ή περισσότερους παράγοντες (‘σωματιδιακή ρύπανση’) και μετά τη λήξη της παρακολούθησης συγκρίνεται η επίπτωση της νόσου (‘έκβαση’) μεταξύ εκείνων που ήταν εκτεθειμένοι στον ή στους παράγοντες και εκείνων που δεν ήταν εκτεθειμένοι. Όλοι οι συμμετέχοντες, κατά τη διάρκεια της εισαγωγής στη μελέτη, δεν νοσούν. Συνήθως, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή των σχετικών κινδύνων (relative risks). Μπορούν, όμως, να υπολογισθούν και απόλυτα μέτρα, όπως η διαφορά στην επίπτωση της νόσου μεταξύ των δύο συγκρινόμενων ομάδων (εκτεθειμένων – μη εκτεθειμένων). Το μειονέκτημα είναι ότι οι έρευνες αυτές κοστίζουν πολύ και είναι ιδιαίτερα δύσκολες για τη μελέτη σπάνιων εκβάσεων, λόγω του μεγάλου αριθμού συμμετεχόντων. Επίσης, ιδιαίτερη προσπάθεια χρειάζεται, ώστε να παρακολουθηθεί ο μεγαλύτερος δυνατός αριθμός μέχρι τέλους,

επειδή η έκθεση μπορεί να σχετίζεται με τη συμπλήρωση της παρακολούθησης και αυτό θα εισάγει συστηματικό σφάλμα.

- **Μελέτες Time Series:** μετρά την αύξηση στον ημερήσιο ρυθμό θνησιμότητας που αναλογεί στην έκθεση του πληθυσμού στη σωματιδιακή ρύπανση.

Και οι δύο, διαφορετικού τύπου επιδημιολογικές έρευνες παρέχουν στοιχεία σχετικού ρίσκου παρουσίασης θνησιμότητας που συσχετίζεται με την σωματιδιακή ρύπανση. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι οι σχετικοί κίνδυνοι θνησιμότητας που προκύπτουν τόσο από τις μελέτες κοορτής, όσο και από τις time series μελέτες, έχουν διαφορετική σημασία, αλλά αναφέρονται σε παρόμοιες επιπτώσεις που προκύπτουν από την έκθεση στη σωματιδιακή ρύπανση. Επίσης, η θνησιμότητα που σχετίζεται με την σωματιδιακή ρύπανση είναι το αποτέλεσμα συνδυασμού άμεσων και χρόνιων επιπτώσεων (Engleert, 1999).

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα των προαναφερόμενων μελετών, μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) σχετίζονται με έναν αριθμό επιπτώσεων στην υγεία, που είναι:

- **αυξημένη θνησιμότητα,**
- **αυξημένες εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω καρδιο-πνευμονολογικών ασθενειών,**
- **αυξημένη συχνότητα χρόνιας βρογχίτιδας,**
- **Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια (COPD, chronic obstructive pulmonary disease) και**
- **αυξημένος κίνδυνος (risk) για εκδήλωση καρκίνου του πνεύμονα**



ΠΗΓΗ: WHO, Quantification of the Health effects of exposure to air pollution, 2001

Όπως προκύπτει και από το παραπάνω σχήμα, η θνησιμότητα είναι σαφές ότι αποτελεί την σημαντικότερη και πιο επικίνδυνη επίδραση των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία. Όμως, η θνησιμότητα είναι το αποτέλεσμα, τις περισσότερες φορές, της εκδήλωσης των ασθενειών στο καρδιαγγειακό και αναπνευστικό σύστημα που προκαλεί και πάλι η έκθεση στην σωματιδιακή ρύπανση.

Υπάρχουν συγκεκριμένες πληθυσμιακές ομάδες, μεταξύ των άλλων, που είναι πιο ευαίσθητες σε σχέση με τις υπόλοιπες, σε ότι αφορά τις επιπτώσεις που έχουν τα αιωρούμενα σωματίδια στην υγεία. Γι αυτό ακριβώς οι ομάδες αυτές, χαρακτηρίζονται ως **ομάδες «υψηλού κινδύνου»**. Στις ομάδες αυτές ανήκουν:

- **παιδιά προεφηβικής ηλικίας**
- **έγκυες και τα έμβρυά τους**
- **ηλικιωμένοι**
- **άτομα που πάσχουν από άσθμα**

➤ **άτομα που πάσχουν από ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος και από καρδιαγγειακές παθήσεις**

Ειδικά για τα παιδιά, ένας αριθμός μελετών δείχνει δυσλειτουργία του πνεύμονα (Gauderman et al.; Avol et al.), έξαρση άσθματος (McConnell et al), βρογχίτιδα και ιγμορίτιδα, εξαιτίας της έκθεσης σε PM. Επιπρόσθετα παρατηρήθηκε και είναι ακόμη υπό εξέταση, το φαινόμενο της βρεφικής θνησιμότητας σε περιοχές με υψηλά επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων (*The effects of air pollution on children's health and development: a review of the evidence. Report on a WHO working group. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2004*). Η επίπτωση αυτή θεωρείται ότι προκύπτει ως άμεσο αποτέλεσμα των αναπνευστικών προβλημάτων που παρουσιάζονται στη μεταγενέθλια περίοδο και αποδίδονται στην έκθεση των βρεφών κυρίως στη σωματιδιακή ρύπανση. Μελέτες σχετικές με το βάρος γέννησης του βρέφους, τους πρόωρους τοκετούς, συνδέουν τα φαινόμενα αυτά με την αέρια ρύπανση και ειδικότερα τα αιωρούμενα σωματίδια. Επιπρόσθετες έρευνες είναι απαραίτητες για την επιβεβαίωση των ενδείξεων που υπάρχουν σχετικά με τη σχέση αυτή.

Ειδικά για την περιοχή της Αθήνας, το μεγαλύτερο μέρος των μικροσωματιδίων προέρχεται από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα (ταξί, λεωφορεία, φορτηγά). Όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται στη σχετική έρευνα του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών, ήδη το 1,2% των πνευμονικών νοσημάτων οφείλεται στην πετρελαιοκίνηση.

Είναι σημαντικό το συμπέρασμα στο οποίο έχουν καταλήξει πολλοί ερευνητές σε ότι αφορά την επίπτωση που έχουν τα αιωρούμενα σωματίδια στην υγεία: δεν υπάρχει οριακή τιμή - κατώφλι ασφαλείας- στην έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια. Για τον

λόγο αυτό δεν μπορούν να καθοριστούν επίπεδα συγκέντρωσης PM, που θεωρείται ότι δεν προκαλούν κανένα είδος επίπτωσης στην υγεία.

Παρόλα αυτά έχει παρατηρηθεί ένας συγκεκριμένος αριθμός παραγόντων που συντείνουν στον μεγαλύτερο βαθμό επίδρασης των αιωρούμενων σωματιδίων στον ανθρώπινο οργανισμό. Οι παράγοντες αυτοί αναλύονται στο ακόλουθο κεφάλαιο.

5.1.1 Παράγοντες που συντελούν στο μέγεθος της επίδρασης της Σωματιδιακής Ρύπανσης στην Υγεία

Οι επιπτώσεις των Σωματιδίων PM10 και PM2.5 στη υγεία, εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως είναι:

- ❑ το μέγεθος των σωματιδίων,
- ❑ η χημική σύσταση των σωματιδίων,
- ❑ το χρονικό διάστημα έκθεσης του πληθυσμού σε αυτά τα σωματίδια, και
- ❑ τα επίπεδα των συγκεντρώσεων PM στα οποία εκτίθεται ο πληθυσμός

5.1.1.α. Παράγοντας 1: Μέγεθος Σωματιδίων

Οι επιπτώσεις που έχουν στην ανθρώπινη υγεία τα αιωρούμενα σωματίδια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος τους. Η ταξινόμηση με βάση το μέγεθος έχει σημασία, αφού το μέγεθος είναι αυτό που καθορίζει την μεταφορά και την απομάκρυνση των σωματιδίων από τον αέρα και την επικάθησή τους στο αναπνευστικό σύστημα. Επίσης

το μέγεθος, σχετίζεται εν μέρει με τη χημική σύσταση και κατά συνέπεια με την πηγή των σωματιδίων.

Όταν τα αιωρούμενα σωματίδια είναι διαμέτρου 10μm, PM10, μπορεί να φτάσουν μέχρι συγκεκριμένο σημείο των πνευμόνων και του διαφράγματος. Τα αιωρούμενα σωματίδια PM10, όταν φτάνουν στη μύτη και στο λαιμό, φιλτράρονται από το ανοσοποιητικό σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού.

Αντίθετα, τα μικρότερης διαμέτρου σωματίδια, δηλαδή τα PM2.5, τα οποία συνήθως εμπεριέχουν πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες και βαρέα τοξικά μέταλλα - αφού προκύπτουν κυρίως από καύση των συμβατικών καυσίμων - εισέρχονται βαθύτερα στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου, μέσω της εισπνοής του αέρα. Ο οργανισμός δεν μπορεί να τα απομακρύνει με τους μηχανισμούς που διαθέτει. Και έτσι μπορούν να απορροφηθούν από το αίμα.

Οπότε προκύπτει ότι τα σωματίδια PM2.5 είναι ικανά να προκαλέσουν μεγαλύτερες και πιο σημαντικές επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό, όπως αύξηση στην θνησιμότητα και επείγουσες εισαγωγές στα νοσοκομεία για καρδιαγγειακές και αναπνευστικές ασθένειες (Health Effects Institute (HEI), *Particulate Air Pollution and Daily Mortality: Replication and Validation of Selected Studies* (HEI, Cambridge, MA, 1995), p. 4.). Τα μεγαλύτερα σωματίδια έχουν κι αυτά επιπτώσεις στην υγεία, όπως αναπνευστικά προβλήματα, αλλά η συμβολή τους στην αύξηση θνησιμότητας δεν είναι ξεκάθαρη.

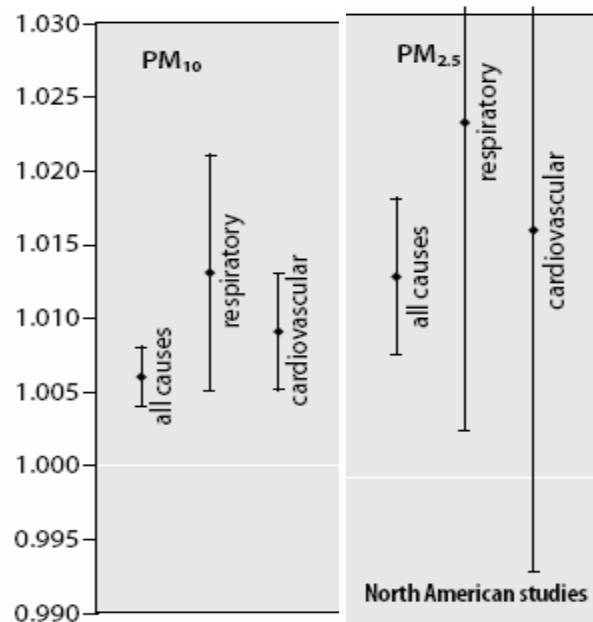
Τα παραπάνω συμπεράσματα, έχουν προκύψει μετά από πολλές μελέτες που έχουν διεξαχθεί ώστε να αποσαφηνιστεί πώς επιδρά το μέγεθος των αιωρούμενων σωματιδίων στην επίδραση που έχουν αυτά στον ανθρώπινο οργανισμό.

Ενδεικτικά αναφέρουμε τα αποτελέσματα μελέτης (Schwartz, 1996) στα πλαίσια της οποίας εξετάστηκαν οι επιπτώσεις που έχουν σωματίδια διαφορετικής διαμέτρου, τόσο τα PM10 όσο και τα PM2.5, στον ανθρώπινο οργανισμό. Η έρευνα επικεντρώθηκε σε καθημερινή έκθεση των ανθρώπων στα αιωρούμενα σωματίδια, σε έξι πόλεις των ΗΠΑ. Τα αποτελέσματα της έρευνας καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια PM2.5 συνδέεται άμεσα με πρόωρη θνησιμότητα, ενώ η έκθεση στα μεγαλύτερα αιωρούμενα σωματίδια PM10 έχει μικρότερη επίδραση στην υγεία.. Η συμβολή των PM10 στην αύξηση θνησιμότητας δεν είναι ξεκάθαρη. Κάποιες άλλες μελέτες (Oberdorster et al., 1995; Seaton et al., 1995; Peters et al., 1997) επεκτείνουν την έρευνα στην επίδραση των ακόμη μικρότερων σωματιδίων (PM<0.05mm ή PM1) από την οποία προκύπτει ότι τα σωματίδια αυτά, είναι υπεύθυνα για τις παρατηρούμενες επιπτώσεις υγείας, εξαιτίας των υψηλών βιολογικών και τοξικολογικών τους αντιδράσεων. Τα πολύ μικρά αυτά σωματίδια, έχουν την μικρότερη διάμετρο των μικρών σωματιδίων (συνήθως μικρότερα των 0.05 mm). Τα κυρίαρχα, πολύ μικρά αιωρούμενα σωματίδια, είναι όπως προκύπτει, τα πρωτογενή σωματίδια (Hilderman et al., 1994).

Στο παρακάτω Διάγραμμα φαίνεται η επίδραση που έχουν στην υγεία, τόσο τα PM10 όσο και τα PM2.5. Με άλλα λόγια, φαίνεται η επίδραση που έχουν τα διαφορετικού διαμέτρου σωματίδια στην θνησιμότητα, και στην εκδήλωση ασθενειών τόσο του αναπνευστικού όσο και του καρδιαγγειακού συστήματος. Είναι εμφανής η διαφορά

επίδρασης των μικρότερων σωματιδίων έναντι των μεγαλύτερων στον ανθρώπινο οργανισμό. Η έρευνα διεξήχθη από τον Παγκόσμιο οργανισμό Υγείας και υποστηρίχθηκε ότι με βάση τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας σε συνδυασμό με άλλες ανάλογοι αντικειμένου μελέτης, **είναι προτιμότερη η επιλογή του PM_{2.5} ως δείκτη για τη συσχέτιση των αιωρούμενων σωματιδίων με τη θνησιμότητα (WHO, 2003).**

Διάγραμμα 5.1: Συμβολή των σωματιδίων PM₁₀ και PM_{2.5} στην αύξηση εκδήλωσης καρδιαγγειακών και αναπνευστικών ασθενειών



5.1.1.β Παράγοντας 2: Χημική Σύσταση Σωματιδίων

Οι επιπτώσεις που έχουν στην ανθρώπινη υγεία τα αιωρούμενα σωματίδια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό εκτός από το μέγεθος τους, και από την χημική τους σύσταση. Κι αυτό γιατί η ταξινόμηση με βάση τη χημική σύσταση των σωματιδίων, μπορεί να μας

παράσχει πολλές πληροφορίες σχετικά με τη φύση των σωματιδίων, τις πηγές τους αλλά και τις ιδιότητές τους.

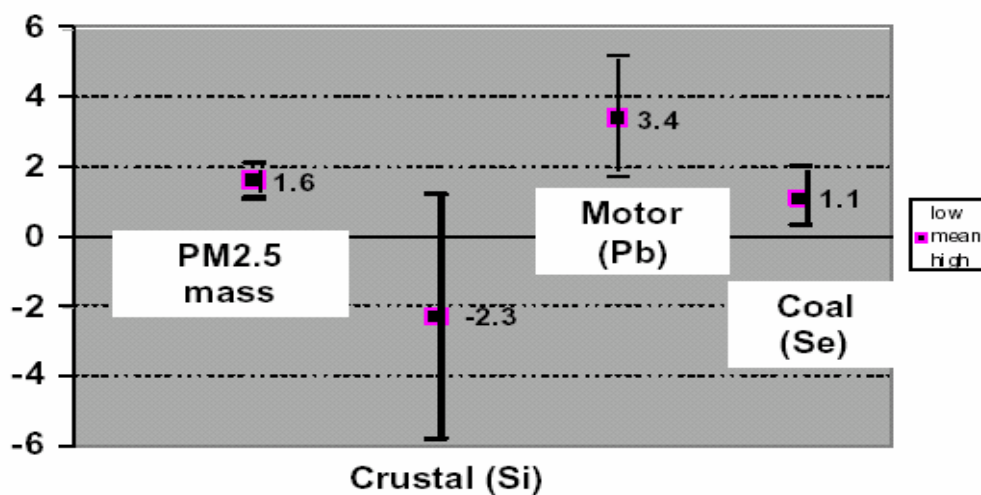
Η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων είναι σύνθετη. Μπορεί τα σωματίδια να απαρτίζονται είτε από βαρέα μέταλλα, άνθρακα, ενώσεις Νιτρικών, Θεικών στοιχείων, αλλά και άμμο, άλατα, κρυσταλλικές ουσίες κλπ. Η ομαδοποίηση των σωματιδίων με βάση τις επιπτώσεις στην υγεία, έχοντας ως καθοριστικό παράγοντα δεν είναι απλή υπόθεση. Παρόλα αυτά, μετά από έρευνες έχουν βγει σαφή συμπεράσματα.

Έτσι, όταν στη χημική σύσταση των σωματιδίων περιλαμβάνονται συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, πολυαρωματικών υδρογονανθράκων, άλλων οργανικών στοιχείων και ενδοτοξινών αποδεικνύεται ότι τα συγκεκριμένα σωματίδια είναι τοξικά και κατά συνέπεια επικίνδυνα για την υγεία. Τέτοιας σύστασης σωματίδια προκύπτουν κυρίως από εκπομπές πετρελαιοκινήτων οχημάτων. Τοξικολογικές έρευνες έχουν αποδείξει ότι τα σωματίδια που προέρχονται από καύση είναι περισσότερο τοξικά. Τα σωματίδια αυτά έχουν σύσταση πλούσια σε οργανικά στοιχεία και σχετικά μεγάλη επιφάνεια. Από την άλλη μεριά, τα σωματίδια που περιέχουν άμμο, άλατα που προέρχονται συνήθως από διάβρωση εδάφους και άλλες φυσικές πηγές και διαδικασίες, δεν έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον από άποψη ρυπαντικού φορτίου.

Από το Διάγραμμα 5.2 που ακολουθεί, επιβεβαιώνεται η διαπίστωση ότι η χημική σύσταση των αιωρούμενων σωματιδίων καθορίζει μέχρι κάποιο βαθμό και την επίδραση που έχουν τα σωματίδια στον ανθρώπινο οργανισμό. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι τα σωματίδια που προκύπτουν από καύση πετρελαίου και προέρχονται από πηγές όπως είναι οι εκπομπές από πετρελαιοκίνητα τροχοφόρα είναι

περισσότερο επικίνδυνα από αντίστοιχα αιωρούμενα σωματίδια PM, οποιασδήποτε άλλης προέλευσης. Το συμπέρασμα αυτό επαληθεύεται από μία σειρά ερευνών και με το ακόλουθο σκεπτικό.

Διάγραμμα 5.2: Επίδραση από Διαφορετικές Πηγές: Επί τοις Εκατό Αλλαγή Θανάτων Ημερησίως ανά 10μg/m³ PM_{2.5} ανάλογα με την πηγή προέλευσης κατά το διάστημα 1979 – 1988, σε έξι πόλεις, Harvard ; (Laden et al, Env Health Perspect 2000; 108 (10): 941-947).



Η καύση πετρελαίου συνεπάγεται μεταξύ των άλλων την παραγωγή σωματιδίων που εμπεριέχουν πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAH), θειικές και νιτρικές ενώσεις. Οι νέες επιστημονικές πληροφορίες που προκύπτουν από μελέτες σε διεθνές επίπεδο, συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι οι εκπομπές σωματιδίων που προέρχονται από καύση πετρελαίου αυξάνουν την πιθανότητα εκδήλωσης καρκίνου (Findings of the Scientific Review Panel on the Report on Diesel Exhaust as adopted at the Panelis 22 April 1998 Meeting, California Air Resources Board, 1998, *mimeo*).

Επιπλέον, πολλές μελέτες αποδεικνύουν ότι οι εκπομπές πετρελαίου προκαλούν τη μετάλλαξη των χρωμοσωμάτων και προκαλούν βλάβες στο DNA, αποτελώντας με τον τρόπο αυτό παράγοντα που συμβάλλει στην εκδήλωση καρκίνου. Το πετρέλαιο, πλούσιο σε πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAH) και αιωρούμενα σωματίδια, προκαλεί δεκαπλάσιας τάξης μετάλλαξη σε σχέση με τη βενζίνη, το οποίο με τη σειρά του είναι δέκα φορές περισσότερο μεταλλαξιογόνο σε σύγκριση με την αμόλυβδη βενζίνη, σύμφωνα με έρευνες που έλαβαν χώρα στη Σουηδία (Jones, R. R., *Br. Med. J.*, 1996, **312**, 1605–1606).

Πρόσφατα, Ιάπωνες επιστήμονες ανακάλυψαν την ένωση 3-nitrobenzanthrone, σε εκπομπές πετρελαίου, από τους πετρελαιοκινητήρες που μπορεί να αποτελεί και την περισσότερο δραστική καρκινογόνο ένωση που έχει ποτέ εξεταστεί (Enya, Takeji *et al.*, *Environ. Sci. Technol.*, 1997, **31**, 2772–2776).

Τέλος, η χημική σύσταση των μικρότερων σωματιδίων PM_{2.5} και PM₁ θεωρείται περισσότερο δραστική και μεγαλύτερης οξύτητας, κατά συνέπεια πιο επιβλαβής στον ανθρώπινο οργανισμό.

5.1.1.γ Παράγοντας 3: Μακροπρόθεσμη και Βραχυπρόθεσμη Έκθεση Σωματιδίων

Η διάρκεια έκθεσης του ανθρώπινου οργανισμού σε αιωρούμενα σωματίδια, είναι ένας παράγοντας που καθορίζει και αυτός, αναλογικά, την επίδραση που θα έχουν τα αιωρούμενα σωματίδια στην υγεία. Έτσι, διακρίνουμε τις επιπτώσεις στην υγεία ανάλογα με τον αν η έκθεση του πληθυσμού είναι μακροπρόθεσμη – «**long term exposure**»- ή βραχυπρόθεσμη – «**short term exposure**». Με άλλα λόγια, έχει

παρατηρηθεί ότι άλλες είναι οι επιπτώσεις που προκύπτουν στην υγεία μετά από μεγάλης χρονικής διάρκειας έκθεση του πληθυσμού στα αιωρούμενα σωματίδια, και άλλες οι επιπτώσεις μετά από μικρής χρονικής διάρκειας έκθεση στα ίδια ακριβώς αιωρούμενα σωματίδια.

Πολλές μελέτες έγιναν με στόχο την διερεύνηση επιπτώσεων στην υγεία από μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια. Η συστηματική παρακολούθηση και ένας σημαντικός αριθμός ερευνών αποδεικνύουν ότι η δημόσια υγεία **απειλείται περισσότερο από την μακροπρόθεσμη έκθεση στα σωματίδια, παρά από την αντίστοιχη βραχυπρόθεσμη έκθεση.**

Μακροπρόθεσμη Έκθεση

Η μακροπρόθεσμη έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια, συνδέεται με συγκεκριμένες επιπτώσεις στην υγεία. Οι επιπτώσεις αυτές περιλαμβάνουν μία σειρά από ασθένειες - που αφορούν το αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα- μέχρι και μείωση του προσδόκιμου χρόνου ζωής. Οι έρευνες που αναφέρονται στη συνέχεια τεκμηριώνουν τις επιδράσεις αυτές.

Όπως προαναφέρθηκε η μακροχρόνια έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να επιφέρει ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος. Αυτό το συμπέρασμα προέκυψε μετά από μία σειρά ερευνών. Στις ΗΠΑ, ο David Abbey, του **Loma Linda University**, εξέτασε μία ομάδα 6,340 ατόμων. Αποτελέσματα της έρευνας αποδεικνύουν **σχέση μεταξύ της μακροπρόθεσμης έκθεσης στους αέριους ρύπους και της ανάπτυξης συγκεκριμένων χρόνιων ασθενειών.** Οι κάτοικοι περιοχών στις οποίες παρατηρήθηκε

υπέρβαση των επιτρεπόμενων τιμών PM10 για μεγαλύτερο διάστημα των 42 ημερών κατά τη διάρκεια του έτους, παρουσίαζαν περισσότερες πιθανότητες ανάπτυξης αναπνευστικών παθήσεων. Πιο συγκεκριμένα είχαν υψηλότερο κίνδυνο **ανάπτυξης βρογχίτιδας** κατά 33% και **ανάπτυξης άσθματος** κατά 74%. Επιπρόσθετα, στα πλαίσια της ίδιας έρευνας παρατηρήθηκε ότι οι γυναίκες που ζουν σε περιοχές με υψηλά επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης, έχουν κατά 37% κίνδυνο **ανάπτυξης κάποιας μορφής καρκίνου**.

Σε άλλη έρευνα που διεξήχθη από τον Dr. Roger Detels του **UCLA**, για την εκδήλωση της **Χρόνιας Αποφρακτικής Πνευμονοπάθειας (COPD, chronic obstructive pulmonary disease)** και τους παράγοντες που ευνοούν την εκδήλωσή της, προέκυψαν σημαντικά αποτελέσματα. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας εξετάστηκαν κάτοικοι των περιοχών της Νότιας Καλιφόρνια (Long Beach, Glendora και Lancaster), με διαφορετικά επίπεδα ρύπανσης PM μεταξύ τους. Όσοι συμμετείχαν στην έρευνα ήταν ηλικίας από 7 ως 59 ετών, και η εξέταση τους διήρκησε για περισσότερο από 5 χρόνια. Το συμπέρασμα στο οποίο οδηγήθηκαν οι ερευνητές, είναι ότι αυτοί που διέμεναν σε πιο επιβαρημένες ρυπαντικά περιοχές, είχαν περισσότερα συμπτώματα αναπνευστικών ασθενειών όπως αποφρακτική πνευμονοπάθεια, ενώ οι κάτοικοι των πιο καθαρών ρυπαντικά περιοχών είχαν πολύ λίγα συμπτώματα τέτοιου τύπου ασθενειών.

Η πιο σημαντική όμως επίπτωση της μακροχρόνιας έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια αποτελεί η **αύξηση της θνησιμότητας**. Πολλές μελέτες κατέληξαν στο συγκεκριμένο αποτέλεσμα, μετά από μακροχρόνιες μελέτες. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι στην Ευρώπη, μία ομάδα ειδικών επιστημόνων συστάθηκε από τον Παγκόσμιο Οργανισμό

Υγείας – *Joint UNECE/WHO-ECEH Task Force on Health Aspects of Long Range Transboundary Air Pollution* – η οποία πρότεινε τη χρήση συντελεστών επικινδυνότητας από την Αμερικανική Οργάνωση Καρκίνου (American Cancer Society, ACS). Η τελευταία εκπόνησε μελέτη με σκοπό την εκτίμηση των επιπτώσεων της **χρόνιας έκθεσης σε PM στο προσδόκιμο χρόνο ζωής**, (Pope CA et al, Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, *Journal of the American Medical Association*, 2002, 287:1132–1141) στην Ευρώπη. Η μελέτη αυτή είναι η μεγαλύτερη μελέτη “κούρτης” που έχει δημοσιευτεί στην επιστημονική βιβλιογραφία και αναφέρεται στην σχέση μεταξύ της θνησιμότητας και της έκθεσης στα PM. Οι εκτιμήσεις που έγιναν οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι **η μακροπρόθεσμη έκθεση σε μικροσωματίδια έχει σαν αποτέλεσμα 100.000 θανάτους ετησίως και 725.000 έτη απώλειας ζωής ετησίως στην Ευρώπη.**

Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και μελέτες που έλαβαν χώρα στις ΗΠΑ, πολύ νωρίτερα από τις αντίστοιχες μελέτες που έγιναν στην Ευρώπη. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι το **1989** έρευνα που διενεργήθηκε από τη Dr. Jane Hall του **California State Fullerton** απέδειξε ότι 1.600 άνθρωποι πεθαίνουν πρόωρα, λόγω παρατεταμένης έκθεσης τους στην σωματιδιακή ρύπανση. Η αύξηση θνησιμότητας μετά από μεγάλης διάρκειας έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια, είναι και αποτέλεσμα όλων των άλλων επιπτώσεων που προκαλεί αυτού του είδους η έκθεση. Δηλαδή η μεγαλύτερη συχνότητα πνευμονικών και καρδιαγγειακών παθήσεων που επέρχεται από την παρατεταμένη έκθεση επιφέρει με τη σειρά της και την θνησιμότητα.

Μια εκτίμηση της θνησιμότητας εξαιτίας της μακροχρόνιας έκθεσης σε 120 ευρωπαϊκές πόλεις (σύνολο 80 εκατ. κάτοικοι), έδειξε ότι περίπου 60 000 θάνατοι

ετησίως μπορούν να συνδεθούν με τη μακροχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλείται από σωματίδια, η οποία υπερβαίνει τα επίπεδα των $PM_{10} = 5 \mu g/m^3$ στις 124 πόλεις που διέθεσαν στοιχεία σχετικά με τα σωματίδια (*Health aspects of air pollution – answers to follow-up questions from CAFE. Report on a WHO working group*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2004).

Βραχυπρόθεσμη Έκθεση

Σε ότι αφορά τις επιπτώσεις στην υγεία από την έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια μετά από μικρή διάρκεια, ένας σημαντικός αριθμός ερευνών έχει διεξαχθεί (*Official Journal of the European Communities*, 2002, L 242:1–15) στην Ευρώπη. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μελέτες αυτές, συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι η μικρής διάρκειας έκθεση σε σωματιδιακή ρύπανση μπορεί να οδηγήσει σε εισαγωγές στο νοσοκομείο λόγω ενοχλήσεων στο αναπνευστικό και καρδιαγγειακό σύστημα. Γι αυτό άλλωστε και υπάρχουν Οδηγίες με όρια – τιμές και για την βραχυπρόθεσμη έκθεση (24 ώρες) στους σωματιδιακούς ρύπους.

Στον Πίνακα 5.1 που ακολουθεί παρατίθενται οι επιπτώσεις στην υγεία από βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη έκθεση του πληθυσμού. Έτσι, γίνεται η αντιπαράθεση των επιπτώσεων και παρατηρούμε τη διαφορά των επιπτώσεων και τον βαθμό επίδρασης με βάση τη χρονική διάρκεια έκθεσης.

Πίνακας 5.1: Οι κυριότερες επιπτώσεις στην υγεία, μετά από βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} και $PM_{2.5}$.

Ρύποι PM_{10} & $PM_{2.5}$	Επιδράσεις στην υγεία μετά από βραχυπρόθεσμη έκθεση	Επιδράσεις στην υγεία μετά από μακροπρόθεσμη έκθεση
-------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------

	<i>του πληθυσμού</i>	<i>του πληθυσμού</i>
	Φλεγμονώδεις αντιδράσεις στους πνεύμονες	Πνευμονική δυσλειτουργία στα παιδιά και στους ενήλικες
	Συμπτώματα αναπνευστικής δυσλειτουργίας	Επιδείνωση των συμπτωμάτων αναπνευστικής δυσλειτουργίας
	Δυσμενείς επιδράσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα	Αύξηση των χρόνιων πνευμονικών παθήσεων
	Αύξηση φαρμακευτικής αγωγής	Αύξηση περιπτώσεων εκδήλωσης της Χρόνιας Αποφρακτικής Πνευμονοπάθειας (COPD)
	Αύξηση εισαγωγών στα νοσοκομεία	
	Αύξηση θνησιμότητας	Μείωση του προσδόκιμου χρόνου ζωής κυρίως λόγω της καρδιοπνευμονικής θνησιμότητας και πιθανώς αύξησης καρκίνου του πνεύμονα σε ενήλικες

5.1.1.δ Παράγοντας 5: Επίπεδα Συγκέντρωσης Σωματιδίων σε συνάρτηση με τη Χρονική Διάρκεια Έκθεσης

Οι θάνατοι που προκαλούνται από την σωματιδιακή ρύπανση μπορεί να προκύψουν:

- είτε από έκθεση σε υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου ρύπανσης (οξεία έκθεση),
- είτε από έκθεση σε χαμηλά επίπεδα συγκέντρωσης για μεγάλο χρονικό διάστημα (χρόνια έκθεση).

Ο θάνατος από οξεία έκθεση αφορά μόνο αυτούς που είναι ήδη επιβαρημένοι με άλλα πολύ σοβαρά προβλήματα υγείας και το αναμενόμενο κόστος ζωής εκφρασμένο σε

χρονικό διάστημα είναι από 0,25 έως και 0,5 χρόνος (Pope et al., 1995, 2002; Holland et al., 1998).

Κατά συνέπεια, τα επίπεδα συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στα οποία είναι εκτεθειμένος ο πληθυσμός παίζουν και αυτά με τη σειρά τους καθοριστικό ρόλο στον τρόπο και στον βαθμό επίδρασης στην υγεία του ανθρώπινου οργανισμού. Άλλες είναι οι επιπτώσεις στην υγεία μετά από έκθεση σε χαμηλά επίπεδα PM, και άλλου βαθμού οι επιπτώσεις μετά από έκθεση σε υψηλά επίπεδα PM.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά, κατά περίπτωση, οι επιδράσεις που έχουν στην υγεία τα υψηλά επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων και οι αντίστοιχες επιδράσεις των χαμηλότερων επιπέδων. Πρέπει να σημειώσουμε στο σημείο αυτό ότι τα αποτελέσματα που παρατίθενται παρακάτω αναφορικά με την έκθεση σε χαμηλά και υψηλά επίπεδα PM, είναι συνισταμένη ερευνών μικρής και μεγάλης διάρκειας. Είναι δηλαδή αποτελέσματα επιπέδων συγκεντρώσεων σε συνάρτηση με τον χρόνο έκθεσης, σύντομο αλλά και παρατεταμένο.

Υψηλά Επίπεδα PM

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας θεωρεί ότι στις πόλεις με χρονικά σταθερά υψηλά επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων, υπολογίζεται ότι τα σωματίδια ευθύνονται για το 21% των αναπνευστικών και καρδιαγγειακών ασθενειών. Αντίθετα, στην επίδραση μικρής διάρκειας επεισοδίων των PM αποδίδεται το 0.6 με 1.6% των θανάτων, ενώ σε ρυπασμένες πόλεις το ποσοστό φτάνει στο 3.4% (R. Bertollini *et al.*, *Environment and Health 1: Overview and Main European Issues*, WHO Regional Publications, European Series, No. 68 (World Health Organization, Copenhagen, 1996), pp. 34-38).

Άλλη έρευνα του **C. Arden Pope III**, του Brigham Young University, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι στις πόλεις όπου παρουσιάζονται τα υψηλότερα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων, ο μέσος όρος προσδόκιμου ζωής μειώνεται από ένα μέχρι και τρία έτη.

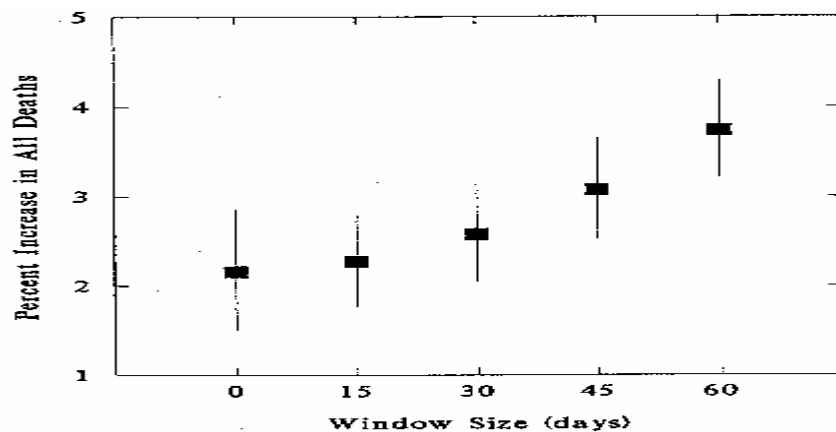
Κατά τη διάρκεια μεγάλων ρυπαντικών επεισοδίων, όπως είναι αυτά που περιλαμβάνουν αύξηση 200-μg στα επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων, θα μπορούσε να αυξηθεί ο ημερήσιος ρυθμός θνησιμότητας κατά 20% (U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Office of Air Quality Planning and Standards, *Review of National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: Policy Assessment of Scientific and Technical Information*, Report No. EPA-452/R-96-013 (USEPA, Washington, D.C., 1996), pp. V-2-V-24). Παρόλα αυτά το αποτέλεσμα της έρευνας αυτής θα πρέπει να εξεταστεί με επιφύλαξη αφού ορισμένοι θάνατοι σε μέρα ρυπαντικού επεισοδίου, μπορεί να προκλήθηκαν από περιπτώσεις ασθενειών που εκδηλώθηκαν στο παρελθόν και σχετίζονταν με τη ρύπανση.

Πολλές από τις έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, συνέδεσαν **μικρής διάρκειας αυξητικές τάσεις στα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων – όπως συνηθίζεται στα επεισόδια ρύπανσης – με άμεσες (μέσα σε 24 ώρες) αυξήσεις στην θνησιμότητα**. Η αιχμή αυτή της ρύπανσης αντιστοιχεί σε μία αύξηση θνησιμότητας της τάξης 2-8% για κάθε 50-μg/m³ αύξησης στα επίπεδα της σωματιδιακής ρύπανσης. Αυτά τα στοιχεία έχουν διαμορφωθεί μετά από έρευνες σε πόλεις όπως είναι η **Αθήνα, το Πεκίνο, η Φιλαδέλφεια και το Σάο Πάολο**, πόλεις με εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά (Bart Ostro, "The Association of Air Pollution and Mortality: Examining the Case for Inference," *Archives of Environmental Health*, Vol. 48, No. 5

(1993), p. 336.), (Health Effects Institute (HEI), *Particulate Air Pollution and Daily Mortality: Replication and Validation of Selected Studies* (HEI, Cambridge, MA, 1995), p. 4.).

Σε άλλη έρευνα (Schwartz, 2000) μελετήθηκε μία αύξηση των PM2.5 του επιπέδου των 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε συνάρτηση με τον χρόνο. Παρατηρήθηκε μία σταθερή αύξηση της θνησιμότητας με την πάροδο του χρόνου. Με άλλα λόγια η αύξηση στα επίπεδα των PM2.5 είναι ανάλογη με την θνησιμότητα, κατά την πάροδο του χρόνου. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνει την επίδραση του παράγοντα της παρατεταμένης έκθεσης (long term exposure) στα αιωρούμενα σωματίδια αλλά και την επίδραση του παράγοντα της αυξημένης συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία.. Τα αποτελέσματα της έρευνας, παριστάνονται γραφικά στο ακόλουθο Διάγραμμα.

Διάγραμμα 5.3: Σχέση θνησιμότητας με αύξηση κατά $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, σε συνάρτηση με τον χρόνο



ΠΗΓΗ: Schwartz, Am J Epi 200

Χαμηλά επίπεδα PM

Δυστυχώς οι επιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία δεν περιορίζονται μόνο στις περιπτώσεις που οι συγκεντρώσεις τους βρίσκονται σε υψηλά ή ακόμη και σε σχετικά υψηλά επίπεδα. Πολλές έρευνες αποδεικνύουν ότι υπάρχουν επιπτώσεις στην υγεία ακόμη και όταν τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων είναι χαμηλότερα από τα όρια που επιτάσσει η Ευρωπαϊκή περιβαλλοντική νομοθεσία ή η εθνική νομοθεσία. Άλλωστε με βάση τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ) και άλλους διεθνείς οργανισμούς δεν υπάρχει κατώτατο επιτρεπόμενο όριο εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων, που να μην επιφέρει επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και ειδικότερα στα άτομα που ανήκουν σε ομάδες υψηλού κινδύνου (*Air Quality Management: Air Quality Guidelines*, WHO, Geneva, 1999).

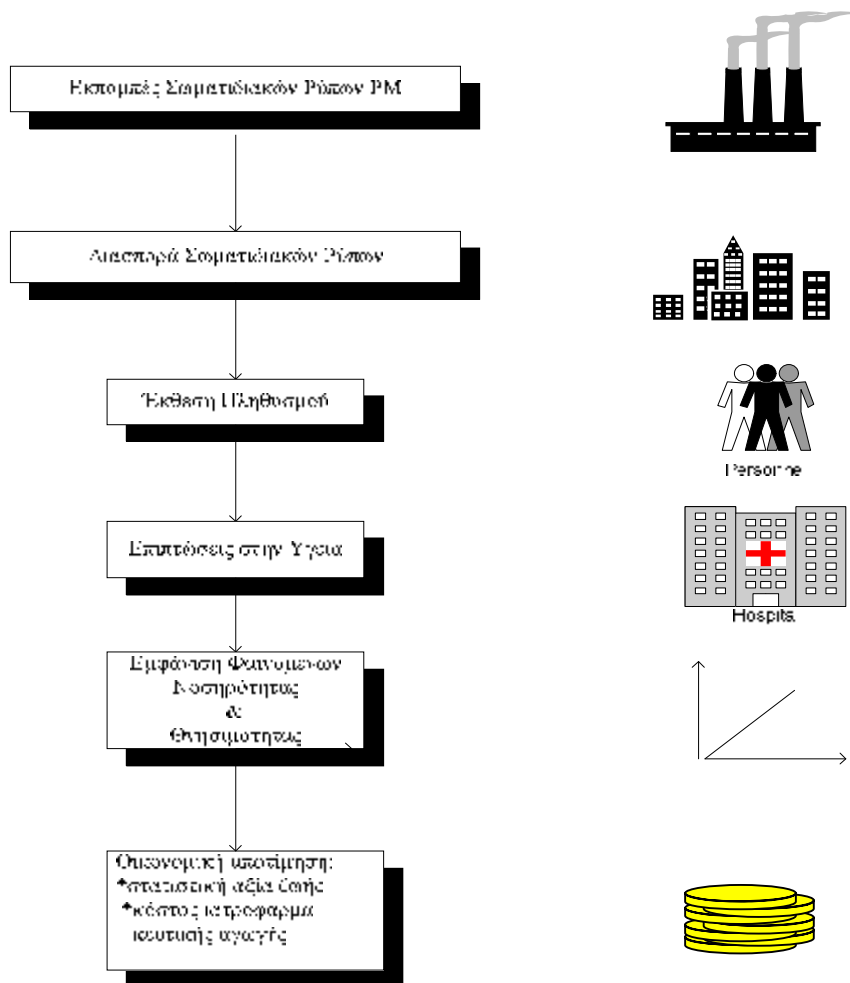
Μία από τις σημαντικότερες έρευνες που καταλήγουν σε αυτό το συμπέρασμα διεξήχθη από το **Harvard University** και ήταν διάρκειας 16 ετών. Με βάση την συγκεκριμένη έρευνα η σωματιδιακή ρύπανση ακόμη και όταν αυτή βρίσκεται σε συγκεντρώσεις που δεν υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα όρια που έχουν τεθεί από την νομοθεσία, μπορούν να μειώσουν το προσδόκιμο χρόνο ζωής μέχρι και δύο έτη.

5.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Η οικονομική αποτίμηση των επιπτώσεων στην υγεία που προκαλείται από την σωματιδιακή και αέρια ρύπανση απαιτείται για την χάραξη πολιτικής για την αέρια ρύπανση. Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία θεωρείται ότι είναι η σοβαρότερης μορφής επίπτωση από έκθεση σε σωματιδιακούς ρύπους, και υπό το πρίσμα της οικονομικής θεώρησης. Η επίδραση στη υγεία από έκθεση στα αιωρούμενα σωματίδια

θεωρείται σοβαρότερη από μία σειρά άλλων επιπτώσεων που επιφέρει η εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων όπως είναι οι καταστροφές στο φυσικό περιβάλλον, τα οικοσυστήματα, την ορατότητα κλπ (US Environmental Protection Agency, 1999). Κι αυτό γιατί η εκπομπή αιωρούμενων σωματιδίων, οδηγεί στην έκθεση του πληθυσμού στα σωματίδια αυτά. Η έκθεση στην σωματιδιακή ρύπανση με τη σειρά της οδηγεί με βάση κάποιους παράγοντες, σε αύξηση στην εκδήλωση συγκεκριμένων ασθενειών και στην αύξηση της θνησιμότητας. Τα αποτελέσματα αυτά, όπως είναι η εκδήλωση παθήσεων και η θνησιμότητα επιφέρουν έξοδα που έχουν άμεση σχέση με τις χαμένες εργατοώρες, την μειωμένη αποδοτικότητα κατά την εργασία, τις εισαγωγές στα νοσοκομεία, την ιατροφαρμακευτική αγωγή, την φθίνουσα ποιότητα ζωής. Όλες αυτές οι συνέπειες είναι τα εξωτερικά κόστη που συνεπάγεται η σωματιδιακή ρύπανση. Η σειρά αυτή των γεγονότων, όπου το ένα διαδέχεται το άλλο φαίνεται και στο ακόλουθο Διάγραμμα 5.4.

Διάγραμμα 5.4: Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην υγεία, το περιβάλλον και την οικονομία



Εάν θελήσουμε να αποτιμήσουμε τις επιπτώσεις της υγείας εξαιτίας της έκθεσης του πληθυσμού στη σωματιδιακή ρύπανση, θα πρέπει να έχουμε υπόψη το γεγονός ότι η αποτίμηση πρέπει να λαμβάνει υπόψη τόσο το οικονομικό, όσο και το κοινωνικό κόστος που συνεπάγονται οι επιπτώσεις αυτές. Όπως είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο οι επιπτώσεις αυτές μπορούν διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες:

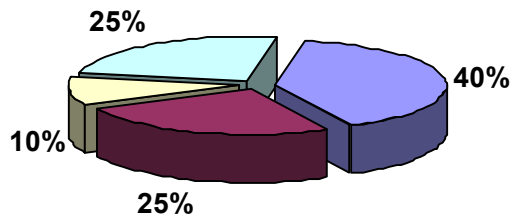
- πρόωγη θνησιμότητα
- εκδήλωση ασθενειών

Η Παγκόσμια Τράπεζα (World Bank), διεξήγαγε μελέτη έτσι ώστε να αποδώσει στην κάθε επίπτωση, τόσο στην πρόωγη θνησιμότητα όσο και στην εκδήλωση ασθενειών, το

ποσοστό συμβολής που τους αναλογεί στο συνολικό κόστος υγείας. Η πρόωρη θνησιμότητα συμβάλει στο 40% του συνολικού κόστους, ενώ στο υπόλοιπο 60% συμβάλει η εκδήλωση διάφορων ασθενειών. Από το σύνολο των ασθενειών που εκδηλώνονται, η χρόνια βρογχίτιδα με 25% και οι παθήσεις του αναπνευστικού συστήματος με 25% επίσης, είναι οι ασθένειες που συμβάλλουν περισσότερο από τις υπόλοιπες στα κόστη που σχετίζονται με την υγεία. **Μάλιστα, σε ότι αφορά τη χρόνια βρογχίτιδα, θεωρείται με βάση άλλες μελέτες, ότι έχει το μεγαλύτερο οικονομικό κόστος, μεγαλύτερο ακόμη και από αυτό της πρόωρης θνησιμότητας** (US EPA, 1997). Άλλες ασθένειες που «κοστίζουν» είναι οι καρδιαγγειακές νόσοι και η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια. Στο Διάγραμμα, οι «άλλες παθήσεις», περιλαμβάνουν εισαγωγές στο νοσοκομείο λόγω καρδιαγγειακών παθήσεων και επειγόντων περιστατικών.

Παρατηρείται λοιπόν, ότι το μεγαλύτερο ποσοστό -60%- από το συνολικό κόστος που έχει στην υγεία η σωματιδιακή ρύπανση, αποδίδεται στην εκδήλωση νοσημάτων και όχι στην πρόωρη θνησιμότητα. Στο παρακάτω Διάγραμμα φαίνεται η σύνθεση του κόστους υγείας που συνεπάγεται η σωματιδιακή ρύπανση, μετά από έκθεση του πληθυσμού σε αυτήν.

Διάγραμμα 5.5: τυπική σύνθεση κόστους υγείας που προκύπτει από σωματιδιακή ρύπανση, ανά επίπτωση (ΠΗΓΗ: Υπολογισμοί από την Παγκόσμια Τράπεζα, Lvonsky et al)



■ Πρόωρη Θνησιμότητα	■ Χρόνια Βρογχίτιδα
■ Άλλο	■ Παθήσεις Αναπνευστικού Συστήματος

Η οικονομική αποτίμηση των επιπτώσεων υγείας γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα που επιφέρει τόσο η εκδήλωση ασθενειών όσο και η θνησιμότητα. Σε κάθε περίπτωση, το συνολικό κόστος υπολογίζεται αφού ληφθούν υπόψη τρεις πολύ σημαντικοί παράγοντες :

- **Κόστος υγείας:** αποτελεί η ιατροφαρμακευτική περίθαλψη και το κόστος που αυτή συνεπάγεται για την ίαση και την παρακολούθηση της ασθένειας που προκύπτει από τη σωματιδιακή ρύπανση (π.χ. το κόστος εισαγωγής και διαμονής σε νοσοκομείο μετά από εκδήλωση κρίσης άσθματος)
- **Μειωμένη παραγωγικότητα:** συνεπάγεται το κόστος της εργασίας που δεν πραγματοποιείται εξαιτίας της εκδήλωσης ασθένειας (π.χ. κατά την διαμονή σε νοσοκομείο, αλλά και κατά την φάση της ανάρρωσης δεν παράγεται εργασία)
- **Ευεξία:** η άμεση επίδραση στην ποιότητα ζωής, κατά την εκδήλωση ασθένειας ή γεγονότων που υποβαθμίζουν την υγεία (π.χ. η όχληση από την εμπειρία του βιώματος εκδήλωσης άσθματος)

Οι πρώτες δύο παράμετροι μπορούν να εκφραστούν ποσοτικά. Η ποσοτική εκτίμηση των παραμέτρων του κόστους της υγείας αλλά και της μειωμένης παραγωγικότητας,

μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με την χρήση στοιχείων που προκύπτουν από άλλες μελέτες που έχουν ήδη ολοκληρωθεί σε τοπικό επίπεδο, ή ακόμη και με την χρήση στοιχείων αντίστοιχων μελετών που έχουν γίνει σε άλλες χώρες, κάνοντας τις απαραίτητες μετατροπές ώστε οι μελέτες αυτές να έχουν εφαρμογή και σε άλλο χωροταξικό επίπεδο. Η τρίτη παράμετρος είναι δύσκολο να πάρει ποσοτική έκφραση, γι αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως τεχνικές **Εξαρτημένης Αξιολόγησης (Contigent Valuation)**. Οι συγκεκριμένες τεχνικές απαιτούν εκτεταμένες έρευνες πεδίου, την δαπάνη σημαντικών οικονομικών και κοινωνικών πόρων, αντικατοπτρίζουν άμεσα τις διαθέσεις του κοινωνικού συνόλου, και προσεγγίζουν τη συνολική αξία των αποτιμώμενων αγαθών.

Μία σειρά από μελέτες έχουν λάβει χώρα τόσο στην ΕΕ όσο και στις ΗΠΑ, με σκοπό να γίνει οικονομική αποτίμηση του κόστους που συνεπάγεται η έκθεση του πληθυσμού στα αιωρούμενα σωματίδια. Οι μελέτες αυτές γίνονται με τη χρήση διαφόρων μοντέλων. Τα αποτελέσματα των πιο σημαντικών ερευνών και της σχετικής βιβλιογραφίας παρουσιάζονται στη συνέχεια. Η οικονομική αποτίμηση αφορά ξεχωριστά την ΕΕ και τις ΗΠΑ, αφού οι παραδοχές και τα δεδομένα δεν είναι τα ίδια κατά περίπτωση.

5.2.1 Ευρωπαϊκή Ένωση

Στην οικονομική αποτίμηση εκδήλωσης των ασθενειών, στα πλαίσια της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης λαμβάνονται υπόψη: (i)τα κόστη ασθένειας (σε τιμές αγοράς), οι χαμένες εργατοώρες, και η χειροτέρευση ποιότητας ζωής (μετά από απαντήσεις που δίνονται σε σχετικά κατάλληλα διαμορφωμένα ερωτηματολόγια) (ii)τα

στοιχεία για όλες τις επιπτώσεις υγείας, ακόμη και για τις λιγότερο σοβαρές επιπτώσεις.

Στην οικονομική αποτίμηση θνησιμότητας (i)δεν δίνουμε ποσοτική αξία στην ανθρώπινη ζωή, αλλά γίνεται εκτίμηση της πιθανότητας νωρίτερου θανάτου από το αναμενόμενο, για την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής (ii) πολλές μελέτες και ερευνητικά προγράμματα αποδίδουν τιμές που θεωρούν ως τις καταλληλότερες για την οικονομική αποτίμηση της ανθρώπινης ζωής (π.χ. ExternE) (iii) ειδικά για την οικονομική αποτίμηση της σωματιδιακής ρύπανσης η σωστή προσέγγιση είναι η αποτίμηση των χαμένων ετών, λαμβάνοντας υπόψη την προηγούμενη κατάσταση υγείας του εκτιθέμενου πληθυσμού. Στα πλαίσια του προγράμματος ExternE καθορίστηκε το κάθε έτος που χάνεται στα 100.000€ (iv) πολλές φορές δεν συμπεριλαμβάνεται στους υπολογισμούς η συνάρτηση του χαμένου έτους με την ηλικία του ατόμου, η ποιότητα ζωής και η ποιότητα των ετών που χάνονται (v) άρα απαιτούνται περισσότερες σχετικές μελέτες.

Τα αποτελέσματα της μελέτης παρουσιάζονται παρακάτω. Από τη μελέτη αυτή παρουσιάζεται και η οικονομική προσέγγιση της ΕΕ, σε θέματα όπως είναι η θνησιμότητα, η εκδήλωση συγκεκριμένων ασθενειών, όπως είναι η αποφρακτική πνευμονοπάθεια κλπ, ως άμεσες επιπτώσεις έκθεσης στην σωματιδιακή ρύπανση.

Πίνακας 5.2: Ποσοτικοποιημένα Κόστη Υγείας (€) που προκαλούνται από έκθεση του Ευρωπαϊκού πληθυσμού σε ΡΜ

<i>Επιπτώσεις Υγείας</i>	<i>Κόστος σε EURO κατά το έτος 2000</i>
Αισθητά Μειωμένης Παραγωγικότητας Ημέρα	139
Εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών δυσλειτουργιών	4,320

Εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω καρδιαγγειακών παθήσεων	16,730
Χρόνια Βρογχίτιδα (Ενήλικες)	169,330
Χρόνιος Βήχας (Παιδιά)	240
Καρδιακή Συμφόρηση	3,260
Κρίση Άσθματος	40
Βήχας (Ενήλικες)	45
Συμπτώματα Κατώτερου Αναπνευστικού (άσθμα) (Παιδιά)	8
Μικρού βαθμού Μειωμένης Παραγωγικότητας Ημέρα	8
Οξεία Θνησιμότητα	1,000,000
Χρόνια Θνησιμότητα	490,000
ΠΗΓΗ: European Commission, ExternE, 2000	

5.2.2 Ελλάδα

Αν θεωρήσουμε ότι η μέση ετήσια συγκέντρωση PM10 είναι 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, τότε το συνολικό ετήσιο κόστος της σωματιδιακής ρύπανσης λόγω της αύξησης της θνησιμότητας αλλά και της νοσηρότητας που προκαλείται είναι 2,096 εκατ. € (*Η ρύπανση σκοτώνει – Θνησιμότητα και οικονομικό κόστος λόγω ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ελλάδα*. Έκθεση του ελληνικού γραφείου της Greenpeace, 2000).

5.2.3 ΗΠΑ

Στις ΗΠΑ έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες με σκοπό την εκτίμηση του κόστους των επιπτώσεων που επιφέρει στην υγεία, η έκθεση στα αιωρούμενα σωματίδια.

Για την οικονομική αποτίμηση της κάθε ασθένειας, (πχ. αναπνευστικά προβλήματα), το συνολικό κόστος που αποδίδεται στην ασθένεια αυτή περιλαμβάνει το κόστος από τις χαμένες εργατοώρες, την χαμηλή παραγωγικότητα, το κόστος που απαιτείται για την ιατροφαρμακευτική περίθαλψη καθώς και τη χαμένη ευεξία. Με άλλα λόγια, για κάθε ασθένεια γίνεται χρήση της κλασσικής οικονομικής αποτίμησης που αναφέρεται στην βιβλιογραφία. Ο λόγος που ακολουθείται αυτή η πρακτική, είναι για να ερμηνευθούν οι παράμετροι που συνθέτουν την αξία (τιμή) των ιατρικών υπηρεσιών που απαιτούνται για την αντιμετώπιση κάθε ασθένειας. Συχνά στην βιβλιογραφία, «κατασκευάζεται» μία τιμή με ακριβώς αυτόν τον τρόπο, θεωρώντας μία ημέρα διαμονής στο νοσοκομείο, ως ιατρική υπηρεσία, και τότε γίνεται η οικονομική αποτίμηση-αξιολόγηση (σε τιμή, πχ. Δολάρια) ως το μέσο κόστος που απαιτείται για μία μέρα διαμονής σε νοσοκομείο με σκοπό την αντιμετώπιση της ασθένειας για την οποία και έγινε η εισαγωγή. Ανάλογα αποδίδεται και το κόστος από τις χαμένες εργατοώρες.

Άλλες οικονομικές εκτιμήσεις βασίζονται σε μεθόδους όπως είναι έρευνες contingent, κατά τις οποίες ερωτώνται άτομα σχετικά με την πρόθεση που έχουν να πληρώσουν (**willingness to pay**) έτσι ώστε να αποφύγουν τις συγκεκριμένες ασθένειες που επιφέρει η έκθεση στους σωματιδιακούς ρύπους.

Ο πιο κλασσικός τρόπος αποτίμησης θνησιμότητας είναι αυτός της EPA (1999) με βάση τον οποίο το κόστος αποτίμησης της ανθρώπινης ζωής από έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια είναι \$4.8 εκατομμύρια δολάρια. Κατά την έρευνα που έγινε από τον Kunzli et al. (2000) στα πλαίσια μελέτης εξωτερικού κόστους των μεταφορών

στην ΕΕ, θεώρησε το αντίστοιχο κόστος της ανθρώπινης ζωής από έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια ίσο με \$1.4 εκατομμύρια δολάρια.

Ένα σημαντικό σημείο αναφορικά με την αποτίμηση της ανθρώπινης ζωής, είναι το γεγονός ότι τις περισσότερες φορές αυτές οι εκτιμήσεις δεν περιλαμβάνουν τα εναπομείναντα χρόνια ζωής που αναλογούν στον καθένα, ώστε να ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής του. Με άλλα λόγια, το κόστος της ανθρώπινης ζωής που υπολογίζεται είναι το ίδιο για ένα άτομο ηλικίας 30 ετών με το κόστος για ένα άτομο ηλικίας 75 ετών. Έτσι, η ΕΡΑ το 1999 αναγνωρίζοντας αυτό το βασικό μειονέκτημα των προηγούμενων αποτιμήσεων, δημιούργησε έναν εναλλακτικό τρόπο υπολογισμού με βάση τον οποίο εκτιμάται και η παράμετρος αυτή. Μετά από τη διόρθωση αυτή, υπολογίστηκε ότι ο μέσος χρόνος απώλειας ζωής εξαιτίας της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια φτάνει τα 12 χρόνια!

Πίνακας 5.3: Ανθρώπινο Κεφάλαιο & Κόστος Θνησιμότητας με βάση την ηλικία στις ΗΠΑ

Ηλικιακή Ομάδα	Χαμένα Έτη Ζωής	Κόστος Θνησιμότητας (\$)
>5	75	\$502,421
5-14	68	\$671,889
15-24	57	\$873,096
25-44	42	\$785,580
45-64	25	\$278,350
65<	10	\$22,997
όλες οι ηλικίες	12	\$143,530

ΠΗΓΗ: The Institute for Health and Aging

Μετά από πολλές μελέτες από έγκυρους οργανισμούς όπως είναι η **Environmental Protection Agency**, τα κόστη που θεωρείται ότι έχει η εκδήλωση κάθε ασθένειας που σχετίζεται άμεσα με την έκθεση στη σωματιδιακή ρύπανση, αλλά και το κόστος της ανθρώπινης ζωής παίρνουν τις τιμές του Πίνακα 5.4, που ακολουθεί.

Πίνακας 5.4: Ποσοτικοποιημένα Κόστη Υγείας (\$) που προκαλούνται από έκθεση του Αμερικάνικου πληθυσμού σε PM

<i>Επιπτώσεις Υγείας</i>	<i>Κόστος σε δολάρια ΗΠΑ κατά το έτος 2000</i>
Αισθητά Μειωμένης Παραγωγικότητας Ημέρα	\$106
Εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών δυσλειτουργιών	\$11,115
Εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω καρδιαγγειακών παθήσεων	\$11,115
Ημέρες με παρουσία Συμπτωμάτων διαφόρων ασθενειών	\$11
Χρόνια Βρογχίτιδα (Ενήλικες)	\$148,296
Χρόνια Βρογχίτιδα (Παιδιά)	\$318
Χρόνιος Βήχας (Παιδιά)	\$318
Καρδιακή Συμφόρηση	\$11,115
Κρίση Άσματος	\$52
Βήχας	\$318
Συμπτώματα Κατώτερου Αναπνευστικού (άσθμα)	\$11
Μικρού βαθμού Μειωμένης Παραγωγικότητας Ημέρα	\$11
Επείγοντα Περιστατικά	\$315
Οξεία Θνησιμότητα	\$1,620,000
Θνησιμότητα	\$4,800,000

ΠΗΓΗ: US EPA, 1997; TER, 1996; και Lvovsky, et. al.

Οι εκτιμήσεις του συγκεκριμένου Πίνακα 5.4 βασίζονται σε εκτιμήσεις και υπολογισμούς που έγιναν από τον Lovsky et al. (1998), την EPA και από έρευνα στην σχετική βιβλιογραφία. Σε ότι αφορά το συνολικό κόστος από την εκδήλωση ασθενειών, αποδίδεται από 50 μέχρι και 85% στα κόστη της ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης, το 10 με 15% στις χαμένες εργατοώρες και την μειωμένη παραγωγικότητα και το υπόλοιπο ποσοστό αποδίδεται στη χαμένη ευεξία.

Στον Πίνακα, τα κόστη που σχετίζονται με νοσοκομειακές εισαγωγές θεωρούνται ιατροφαρμακευτικές υπηρεσίες, οι χαμένες εργατοώρες ως μειωμένο εργατικό δυναμικό, και όλες οι άλλες καταστροφές που επιφέρει η έκθεση στη σωματιδιακή ρύπανση αλλά δεν σχετίζονται με την αγορά θεωρείται ως χαμένη ευεξία. Η θνησιμότητα είναι μόνο χαμένο εργατικό δυναμικό και ευεξία, η αναλογία εξαρτάται από την ηλικία θανάτου και τον υπολογισμένο χρόνο ευεξίας γι αυτούς που ανήκουν στο εργατικό δυναμικό.

6.1 ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Στο Κεφάλαιο 4 έγινε εκτενής αναφορά στα επίπεδα συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων που επικρατούν στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στην Ελλάδα. Στο επόμενο Κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής περιγραφή των επιπτώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, στην υγεία, μετά από έκθεση του οργανισμού σε αυτού του τύπου τη ρύπανση. Το συμπέρασμα που εξάγεται και από τα δύο προηγούμενα κεφάλαια είναι ότι το πρόβλημα της σωματιδιακής ρύπανσης έχει πολλές και διαφορετικές διαστάσεις οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών προεκτάσεων. Ενδεικτικό άλλωστε είναι και το πόρισμα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO), με βάση τον οποίο, δεν υπάρχει κατώτατο όριο έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια. Δηλαδή αποτελούν κίνδυνο για την υγεία, αφού τοξικά σε οποιαδήποτε συγκέντρωση.

Οπότε, η επιπρόσθετη λήψη μέτρων και η πιο συστηματική έρευνα των σωματιδίων αυτών, της συμπεριφοράς τους και των επιπτώσεων που έχουν κρίνεται αναγκαία.

Η μέχρι τώρα περιβαλλοντική πολιτική, τόσο στην ΕΕ όσο και στις ΗΠΑ, επέφερε κάποια σημαντικά αποτελέσματα, αφού στις περισσότερες χώρες παρατηρείται σημαντική μείωση των εκπομπών των σωματιδίων με ελάχιστες εξαιρέσεις (Κεφάλαιο 4). Η πολιτική αυτή απαρτίζεται από νομοθετικά μέτρα, νέες τεχνολογίες περιβαλλοντικά αποδεκτές, χρήση εναλλακτικών καυσίμων, εφαρμογή μοντέλων, προγραμμάτων κλπ. Μία σειρά νομοθετικών μέτρων που αφορούν τη διαχείριση εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων στην ΕΕ, παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα.

Νομοθεσία

Πίνακας 6.1: Νομοθεσία ΕΕ που αφορά έμμεσα ή άμεσα τη διαχείριση αιωρούμενων σωματιδίων PM

Νομοθεσία ΕΕ για την διαχείριση των Αιωρούμενων Σωματιδίων PM			
Νομοθεσία για Μεγάλες Μονάδες Καύσης			
Auto/Oil EURO Πρότυπα για Μεγάλα Φορτηγά, Επιβατικά Οχήματα			
Νομοθεσία IPPC (Integrated Pollution Prevention & Control)			
Εθνική Νομοθεσία & Εθνικές Πρακτικές			

Η νομοθεσία που έχει θεσπίσει η ΕΕ μέσω της οποίας παρέχονται οι ενδεικτικές τιμές που θα αναθεωρηθούν βάσει των νέων πληροφοριών για τις επιπτώσεις στην υγεία, το περιβάλλον και την τεχνική εφικτότητα και βάσει της πείρας που εξάγεται από την εφαρμογή των οριακών τιμών του αρχικού σταδίου στα κράτη μέλη, αναφέρεται στον Πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2: Νομοθεσία ΕΕ για τα αιωρούμενα σωματίδια PM

	Περίοδος αναφοράς στον υπολογισμό μέσου όρου	Οριακή Τιμή	Προθεσμία για τη συμμόρφωση προς την Οριακή τιμή
24ωρη οριακή τομή για την προστασία υγείας του ανθρώπου	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 (δεν πρέπει να υπερβαίνονται πάνω από 35 φορές ανά έτος)	1 ^η Ιανουαρίου 2005
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία υγείας του ανθρώπου	1 Ημερολογιακό Έτος	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10	1 ^η Ιανουαρίου 2005
ΣΤΑΔΙΟ 2			
24ωρη οριακή τομή για την προστασία υγείας του ανθρώπου	24 ώρες	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 (δεν πρέπει να υπερβαίνονται πάνω από 7 φορές ανά	1 ^η Ιανουαρίου 2010

		έτος)	
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία υγείας του ανθρώπου	1 Ημερολογιακό Έτος	20 µg/m ³ PM10	1 ^η Ιανουαρίου 2010

Η ΕΕ έχει δημιουργήσει το πρόγραμμα ‘**Clean Air for Europe**’ (CAFE) με στόχο να δημιουργήσει το κατάλληλο υπόβαθρο για την αναθεώρηση της νομοθεσίας της ΕΕ για την αέρια ρύπανση κατά το 2005 (CEC, 2001). Κατά την αναθεώρηση αυτή θα επαναπροσδιοριστούν οι τιμές όρια των αέριων ρύπων και κατά προέκταση και των σωματιδιακών ρύπων. Μάλιστα στα πλαίσια των μετρήσεων που έχουν λάβει χώρα μέχρι τώρα, έχει συζητηθεί η έναρξη συστηματικών μετρήσεων των PM1. Η ΕΕ έχει αποδείξει μέχρι σήμερα μέσω της πολιτικής της ότι δίνει έμφαση στην ανάγκη διαχείρισης των αιωρούμενων σωματιδίων και έτσι σκοπεύει να συνεχίσει. Το CAFE θα εξακολουθεί συστηματικά να συλλέγει και να εξετάζει σχετικές πληροφορίες και δεδομένα με στόχο να δίνει κατευθύνσεις στις αποφάσεις που αφορούν την διαχείριση και τον έλεγχο των σωματιδίων.

Για το λόγο αυτό έχει συστήσει μία ομάδα εργασίας η οποία περιλαμβάνει διάφορους φορείς όπως είναι μέλη της χωρών μελών της ΕΕ, μέλη Βιομηχανιών, μέλη ΠΟΥ, μέλη ΜΚΟ. Τα κυριότερα θέματα της συγκεκριμένης ομάδας εργασίας είναι:

- Η εξέταση της παρούσας κατάστασης σε σχέση με τις συγκεντρώσεις των PM10 και PM2.5, λαμβάνοντας υπόψη τις νέες εισερχόμενες πληροφορίες από το 1997 και μετά όταν το τελευταίο σχετικό “**Position Paper on PM**” ολοκληρώθηκε
- Η εκτίμηση και αξιολόγηση των τάσεων των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων
- Η συλλογή πληροφοριών σε ότι αφορά την παρακολούθηση των αιωρούμενων σωματιδίων αναφορικά και με την επιβολή της πρόσφατης σχετικής νομοθεσίας

- Η παροχή συμβουλευτικών υπηρεσιών σε σχετικούς μελλοντικούς στόχους αναφορικά με τα αιωρούμενα σωματίδια, λαμβάνοντας υπόψη τις συστάσεις του ΠΟΥ για τις επιπτώσεις που τα σωματίδια αυτά έχουν στην υγεία
- Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του Integrated Assessment Modelling που λαμβάνει χώρα στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος CAFE, για τα αιωρούμενα σωματίδια

Η ομάδα εργασίας που προεδρεύει η Μεγάλη Βρετανία και η Γερμανία, ιδρύθηκε τον Απρίλιο του 2002. Μέχρι σήμερα έχουν συλλεγεί πολλά στοιχεία για τα PM10, λιγότερα για τα PM2.5 και πολύ λιγότερα για τα μικρότερα σωματίδια. Για το λόγο αυτό έχουν σταλεί από την ομάδα εργασίας ερωτηματολόγια στις χώρες μέλη αλλά και στις υπό ένταξη χώρες ζητώντας επιπρόσθετα στοιχεία σχετικά με τα αιωρούμενα σωματίδια. Οι απαντήσεις αποδεικνύουν ότι χρειάζεται επιπρόσθετη προσπάθεια για την βελτίωση των διαθέσιμων στοιχείων και της ποιότητάς τους. Επίσης εξάγεται το συμπέρασμα ότι απαιτείται η μέτρηση και η παρακολούθηση και άλλων μικρότερων σωματιδίων όπως τα PM1.

Όλα τα μέτρα που εφαρμόζονται για τον έλεγχο των αιωρούμενων σωματιδίων εξετάζονται και από οικονομικής πλευράς εάν δηλαδή είναι συμφέρουσα και σε ποιο βαθμό η εφαρμογή τους. Ιδανικός είναι ο συνδυασμός της μέγιστης αποδοτικότητάς τους με το ελάχιστο κόστος. Ως πρακτικό εργαλείο, οι ολοκληρωμένες εκθέσεις μοντέλων μπορούν να χρησιμοποιούνται ώστε να αναλύουν την οικονομική αποδοτικότητα των στρατηγικών ελέγχου εκπομπών και στο να θέσουν την ποσότητα που πρέπει να επιτευχθεί μείωση.

Οι ΗΠΑ έχουν ισχύουσα νομοθεσία τόσο για τα PM10 όσο και για τα PM2.5.

Πίνακας 6.3: Νομοθεσία ΗΠΑ για τα αιωρούμενα σωματίδια PM

	<i>Περίοδος αναφοράς στον υπολογισμό μέσου όρου</i>	<i>Οριακή Τιμή</i>
Αιωρούμενα σωματίδια PM10	24 ώρες	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία υγείας του ανθρώπου	1 Ημερολογιακό Έτος	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10
Αιωρούμενα σωματίδια PM2.5	24 ώρες	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10
Ετήσια οριακή τιμή για την προστασία υγείας του ανθρώπου	1 Ημερολογιακό Έτος	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

Σταθερές Πηγές

- **Μηχανικοί Συλλέκτες**
- **Κυκλώνες** (διαχωρισμός με φυγοκέντριση)
- **Διαδικασίες Φιλτραρίσματος**
- **Ηλεκτροστατική Καθίζηση**
- **Scrubbing** (επεξεργασία απαερίων – καθαρισμός)

Όλες οι τρέχουσες τεχνικές ελέγχου των αιωρούμενων σωματιδίων είναι λιγότερο αποδοτικές όταν αφορά σε σωματίδια μεγέθους της τάξης του 0.2 με 2 mm. Το εύρος αυτής της τάξης μεγέθους είναι και το πιο δαπανηρό σε ότι αφορά στη συλλογή του. Ας μην ξεχνάμε πώς όπως έχει προαναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο αυτού του μεγέθους τα σωματίδια είναι και τα πιο επικίνδυνα για το αναπνευστικό σύστημα, με βάση όλες τις σχετικές μελέτες. Αυτός είναι και ένας πολύ σημαντικός λόγος που απαιτείται βελτίωση στη διαχείριση αυτού του τύπου αιωρούμενου σωματιδίου. Η συνηθέστερα προτεινόμενη μέθοδος απομάκρυνσης σωματιδίων

από μονάδα παραγωγής ενέργειας γίνεται με χρήση φίλτρων. Αν και τα συστήματα ελέγχου μειώνουν απευθείας τις εκπομπές αιωρούμενων σωματιδίων με απόδοση 99.5%, δεν προλαμβάνουν την διάχυση αέριων ρυπογόνων εκπομπών και τον σχηματισμό σωματιδίων ως αποτέλεσμα της αντίδρασης αυτών των σωματιδίων με στοιχεία από το εξωτερικό περιβάλλον (TED, 1996b).

Κινητές πηγές

Το πρόβλημα ελέγχου και διαχείρισης των εκπομπών που προέρχονται από κινητές πηγές είναι ιδιαίτερα σημαντικό κι αυτό γιατί, οι εκπομπές των αιωρούμενων σωματιδίων σε πολύ μεγάλο βαθμό προέρχονται από αυτοκίνητα και φορτηγά. Μάλιστα οι πηγές αυτές συμβάλουν πολύ στην παραγωγή σωματιδιακής ρύπανσης. Η ηλεκτροστατική καθίζηση και τα scrubbers έχουν δοκιμαστεί με περιορισμένο βαθμό απόδοσης. Μεταξύ των άλλων, τα φίλτρα παρουσιάζονται ως η πιο κατάλληλη τεχνική παρά το γεγονός ότι απαιτείται καθαρισμός κατά περιόδους, όπως επίσης και εναπόθεση των συλλεγόμενων αεροζόλ (Committee on Particular Control Technology, 1980).

6.2 Προτάσεις για επιπρόσθετα Μέτρα

Οι στρατηγικές ελέγχου και διαχείρισης εκπομπών PM_{2.5} που εφαρμόζονται στις ΗΠΑ κυρίως, έχουν ως εξής:

- Θεωρώντας ως δεδομένο ότι οι ΗΠΑ, δεν μπορούν να τηρήσουν τα όρια που τίθενται από την EPA και τις μειώσεις που απαιτούνται στις συγκεντρώσεις των PM_{2.5} μέχρι το 2010, κρίνεται απαραίτητη η λήψη κάποιων επιπρόσθετων μέτρων, έτσι ώστε να μειωθεί ο βαθμός έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια των ευαίσθητων ομάδων πληθυσμού. Αυτά τα μέτρα μπορεί να έχουν τη μορφή μέτρων που αφορούν μέτρα περιορισμού των επιπέδων των PM σε εσωτερικούς χώρους όπου έχουν παρατηρηθεί υψηλά επίπεδα PM. Τέτοιοι χώροι έχει

παρατηρηθεί ότι είναι συνήθως, νοσοκομεία, σχολεία κλπ. Αυστηρότεροι κανονισμοί, απαιτούνται σχετικά με εφαρμογές θέρμανσης, εξαερισμού, κλιματισμού, και τα συστήματα φίλτρων για ορισμένες κατηγορίες κτιρίων. Ο τρόπος αυτός μπορεί να είναι και ο πιο αποτελεσματικός και οικονομικά φθηνότερος για τον έλεγχο των αιωρούμενων σωματιδίων.

- Όπως έχει προαναφερθεί τα μικρότερης διαμέτρου σωματίδια αν και είναι τα πιο επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία, είναι και τα λιγότερο αποτελεσματικά ελεγχόμενα μέσω της διαθέσιμης τεχνολογίας. Οπότε απαιτείται μεγαλύτερη έρευνα και ανάπτυξη τεχνολογίας που θα αφορά ειδικά αυτό το μέγεθος σωματιδίων.
- Οι εκπομπές ντίζελ των οχημάτων βαρέως τύπου (HDDV) τείνουν να είναι οι κύριες πηγές εκπομπής PM_{2.5}. Κατά συνέπεια είναι αναγκαία η λήψη αυστηρότερων μέτρων σε σχέση με τις εκπομπές αυτής της κατηγορίας οχημάτων.
- Αν είναι δυνατό, απαιτείται ένα σύστημα εμπορίου (**trading system**) σε ότι αφορά τις εκπομπές PM, και τη διαχείρισή τους. Μία τέτοια ενέργεια, θα δημιουργούσε κίνητρα για σημαντικές μειώσεις στα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων, και όχι για μειώσεις που απλά θα βρίσκονταν στα όρια των επιτρεπόμενων τιμών που θέτει η σχετική νομοθεσία. Άλλωστε το κόστος για επιπρόσθετες μειώσεις επιπέδων δεν θα ήταν με τον τρόπο αυτό ιδιαίτερα σημαντικό. Και με τον τρόπο αυτό οι υπεύθυνοι των εκπομπών, θα είχαν σημαντικό οικονομικό όφελος. Άλλωστε, ανάλογη εμπειρία με το οξείδιο του θείου, και το σύστημα εμπορίου που ακολουθήθηκε για τις εκπομπές αυτές, αναδεικνύει τη δυνατότητα επέκτασης αυτού του τύπου εμπορίου και τη δυνατότητα σημαντικής ελάττωσης εκπομπών αιωρούμενων σωματιδίων με το χαμηλό κόστος.
- Τέλος η διαφάνεια είναι ένας σημαντικός στόχος κατά την εξέταση και εφαρμογή των στρατηγικών ελέγχου. Όλα τα μέτρα ελέγχου που προτείνονται προς εφαρμογή πρέπει να είναι τέτοια ώστε να υπάρχει διαφάνεια σε σχέση με τα εσωτερικά κόστη εφαρμογής τους και τι δράσεις περιλαμβάνουν. Με άλλα λόγια, μέσω των κανονισμών, πρέπει να

διαφαίνεται το κόστος που έχει η μείωση των επιπέδων των αιωρούμενων σωματιδίων. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την πολιτική που ακολουθείται και την τάση που υπάρχει στην μέχρι τώρα θεσπισμένη νομοθεσία, με στόχο την αποφυγή διαμαρτυρίας στους κανονισμούς. Παρόλα αυτά έχει παρατηρηθεί πως όταν οι ιδιοκτήτες μονάδων γνωρίζουν το εσωτερικό κόστος των πράξεων που πρόκειται να ακολουθήσουν, πιο εύκολα ψάχνουν τρόπους εξεύρεσης μείωσης της ρύπανσης που προκαλούν (Ambient Air Pollution Position Paper, Final Version, April, 1997).

Παρόλα αυτά, η παρούσα περιβαλλοντική πολιτική σε ότι αφορά τη διαχείριση και τον έλεγχο των αιωρούμενων σωματιδίων φαίνεται να μην είναι επαρκής, αφού η σωματιδιακή ρύπανση εξακολουθεί να αποτελεί πολύ σημαντικό πρόβλημα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και της υγείας. Οπότε κρίνεται απαραίτητη η επιπρόσθετη λήψη μέτρων και σχετικής περιβαλλοντικής πολιτικής, που θα περιορίσει το μέγεθος του προβλήματος. Ιδιαίτερη έμφαση σε ότι αφορά τα μέτρα αντιμετώπισης των αιωρούμενων σωματιδίων, πρέπει να δοθεί στα ακόλουθα ζητήματα:

- Εκπομπές από το κυκλοφοριακό και ιδιαίτερα από τα πετρελαιοκίνητα οχήματα
- Πηγές καύσης ξύλου και άνθρακα
- Επιπρόσθετες μειώσεις στις εκπομπές ενώσεων όπως είναι το διοξείδιο του θείου (SO₂), τα οξείδια αζώτου (NO_x), την αμμωνία (NH₃), και οι Πτητικοί Οργανικοί Υδρογονάνθρακες (VOC), που σχηματίζουν τα δευτερογενή αιωρούμενα σωματίδια

Είναι ακόμη πολλά τα ζητήματα που αφορούν τα αιωρούμενα σωματίδια και είναι υπό διερεύνηση. Τα ζητήματα αυτά περιλαμβάνουν: (i) περαιτέρω μελέτες στην έκθεση στα σωματίδια (ii) δοσολογία, τοξικότητα διαφορετικών στοιχείων που συνθέτουν τα σωματίδια, (iii)

βιολογικοί μηχανισμοί των επιπτώσεων, (iv) ευαίσθητες ομάδες και ειδικές επιδράσεις (λαμβάνοντας υπόψη τις γενετικές-περιβαλλοντικές αλληλεπιδράσεις).

Η περισσότερο συστηματική εξέταση των αιωρούμενων σωματιδίων μέσω προγραμμάτων απαιτείται, και ιδιαίτερα των μικρότερων σωματιδίων, αφού αυτά παρουσιάζονται περισσότερο υπεύθυνα για τις επιπτώσεις στην υγεία. Μάλιστα, ως αποτέλεσμα του συμπεράσματος αυτού σχεδιάζεται η συστηματική μέτρηση και παρακολούθηση των PM1 και η παύση μέτρησης των PM10.

Τέλος είναι απαραίτητη η συστηματική παρακολούθηση της βάσης δεδομένων που προκύπτει από την σχετική βιβλιογραφία. Έτσι, μπορούν γίνουν οι μέτα-αναλύσεις και οι αναλύσεις και τα συμπεράσματα από κάθε νέο στοιχείο που προκύπτει σχετικό με το θέμα.

Προτάσεις για μελλοντικές δράσεις

Η ανταλλαγή απόψεων μεταξύ νομοθετών και παραγόντων είναι απαραίτητη για την επιστημονική συνεισφορά στην περιβαλλοντική πολιτική. Η συνεχιζόμενη αλληλεπίδραση μεταξύ διαφόρων εθνικοτήτων επιστημόνων και ειδικών στο modelling απαιτείται για την επαλήθευση των νέων επιστημονικών δεδομένων-στοιχείων που έρχονται στην επιφάνεια. Στα επόμενα χρόνια, βελτιώσεις αναμένονται σε συγκεκριμένους τομείς: (i) ο καθορισμός δεικτών υγείας (health impact indicators) που μπορούν να συσχετισθούν με επιπτώσεις στην υγεία από έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια (ii) εκτιμήσεις- υπολογισμός των αιωρούμενων σωματιδίων (iii) modelling των τεχνολογιών διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών στη σύσταση των καυσίμων που χρησιμοποιούνται (iv) modelling της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και παρακολούθηση των συγκεντρώσεων των PM (v) εκτίμηση του αστικού πληθυσμού που εκτίθεται σε αιωρούμενα σωματίδια (vi) η επανεξέταση-επαλήθευση από ειδήμονες διεθνούς

επιπέδου των δυνατών διαχειριστικών προτάσεων ελέγχου και το κόστος που συνεπάγεται η εφαρμογή τους στο RAINS και (vii) ανάλυση ευαισθησίας των στοιχείων αυτών που παραμένουν υπό εξέταση και περικλείουν μεγάλο βαθμό αμφισβήτησης.

Υπολογισμός κόστους εφαρμογής μέτρων στην ΕΕ

Οι υπολογισμοί κόστους της σχετικής νομοθεσίας και άλλων σχετικών μέτρων φαίνεται στον Πίνακα 3. Κατά το 1995, οι υπολογισμοί που έγιναν μέσω RAINS δίνουν ότι περίπου 8 δισεκατομμύρια Euro/έτος ξοδεύτηκαν στις χώρες μέλη της ΕΕ για την εφαρμογή μέτρων που σχετίζονται με τη μείωση των επιπέδων των PM. Αν και το επίπεδο εξόδων παραμένει σταθερό για τη διαχείριση αιωρούμενων σωματιδίων από σταθερές πηγές (με μόνη εξαίρεση την οικιακή καύση), πρόσφατα υιοθετήθηκαν μέτρα μέσω της Ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής νομοθεσίας που αφορούν και κινητές πηγές (**Auto Oil emission standards**) γεγονός που θα αυξήσει το συνολικό κόστος σε περίπου σε 40 δις. € μέχρι το 2010, εφόσον γίνει πλήρης εφαρμογή μέτρων ελέγχου και διαχείρισης των αιωρούμενων σωματιδίων. Σε χώρες υπό ένταξη στην ΕΕ τα συνολικά κόστη από το 1995 μέχρι το 2010 είναι τριπλάσια, αφού καθορίζονται πρωταρχικά από την εναρμόνιση με τη νομοθεσία που αφορά τις μεταφορές.

Πίνακας 6.4: Κόστη μέτρων που μειώνουν την εκπομπή πρωτογενών PM, για το 1995 και για το 2010. Τα κόστη αυτά περιλαμβάνουν την πλήρη εφαρμογή μέτρων στον τομέα των συγκοινωνιών, αν και επηρεάζουν εκπομπές και άλλων αερίων ρύπων εκτός των PM [Μio €/έτος]

	ΕΕ15		ΜΗ ΕΕ	
	<u>1995</u>	<u>2010</u>	<u>1995</u>	<u>2010</u>
Σταθμοί Παραγωγής ενέργειας	1218	1045	1482	1453
Βιομηχανικές Καύση	169	135	197	180
Οικιακές Καύσεις	554	1891	163	1006
Βιομηχανικές Πρακτικές	1394	1911	781	1372
Μεταφορές	4232	34842	433	5689
Άλλο	439	453	70	786
ΣΥΝΟΛΟ	8006	40276	3126	10486

6.2 ANAMENOMENA OΦEΛH

Τα οφέλη που προκύπτουν από μείωση των επιπέδων των αιωρούμενων σωματιδίων είναι πολλά με πολλές προεκτάσεις: στην οικονομία, στην υγεία, στην εργασία, στην ποιότητα ζωής και φυσικά στο περιβάλλον. Κάποια οφέλη μπορούν να πάρουν ποσοτική μορφή κάποια άλλα όχι.

Πιο αναλυτικά, υπάρχει μεγάλη εξοικονόμηση χρήματος και εξόδων, ως άμεση επίπτωση λιγότερων κρουσμάτων διαφόρων νοσημάτων και αύξηση θνησιμότητας που προκαλεί η έκθεση στα αιωρούμενα σωματίδια. Επιπλέον, εξοικονομούνται χρήματα από τις απώλειες παραγωγικότητας που τώρα δεν αποτελούν τόσο συχνό φαινόμενο. Επίσης, μειώνοντας τα επίπεδα των σωματιδίων σημαίνει ότι έχουν σημειωθεί μειώσεις και σε άλλους ρύπους που παράγουν τα αιωρούμενα σωματίδια. Άρα, μειώνεται σημαντικά το επίπεδο αέριας ρύπανσης. Τα αποτελέσματα αυτά οδηγούν με τη σειρά τους σε ένα καλύτερο επίπεδο ποιότητας ζωής. Βλέπουμε λοιπόν, πόσες συνισταμένες αφορούν οι συγκεντρώσεις των PM.

6.5.1 Ευρωπαϊκή Ένωση

Τα οφέλη που προκύπτουν στην ΕΕ μπορούν να υπολογιστούν με τη βοήθεια του μοντέλου RAINS το οποίο περιέχει συνισταμένη με βάση την οποία μπορεί να υπολογιστεί η επίπτωση των αιωρούμενων σωματιδίων στο προσδόκιμο ζωής στην ΕΕ (Mechler *et al.*, 2001). Συνδυάζει τις επιδημιολογικές έρευνες που συσχετίζουν την αυξημένη θνησιμότητα με τα υψηλά επίπεδα αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5} και εξετάζει τις επιδράσεις των μελλοντικών διακυμάνσεων των συγκεντρώσεων των PM_{2.5} στη θνησιμότητα και στο προσδόκιμο επίπεδο ζωής σε

διάφορες χώρες της ΕΕ. Η προκαταρκτική εφαρμογή της συνισταμένης αυτής χρησιμοποιεί το ρυθμό σχετικής επικινδυνότητας μεταξύ της έκθεσης στα αιωρούμενα σωματίδια PM και θνησιμότητας όπως φαίνεται σε πρόσφατη μελέτη της Αμερικανικής Αντικαρκινικής Ένωσης (Pope, 2002). Το EMEP χρησιμοποιήθηκε, για τις μετεωρολογικές συνθήκες κατά το 2000, ώστε να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις των πρωτογενών PM_{2.5} και των δευτερογενών αιωρούμενων σωματιδίων. Με την μεθοδολογία, τα στοιχεία και τις παραδοχές, υπολογίζονται οι εκπομπές κατά τα έτη 1990 και το 2010. Αν θεωρήσουμε λοιπόν ότι τα επίπεδα του 1990 μένουν σταθερά μέχρι και το 2010, οι μεγαλύτερες απώλειες σε έτη ζωής εξαιτίας της έκθεσης σε πρωτογενή PM_{2.5} υπολογίζονται στην Δημοκρατία της Τσεχίας (704 ημέρες), Γερμανία (664 ημέρες), Πολωνία (655 ημέρες), Βέλγιο (652 ημέρες) και Ολλανδία (643 ημέρες). Οι λιγότερες επιρροές στην υγεία παρουσιάζονται στην Ιρλανδία (154 ημέρες) και στις Σκανδιναβικές χώρες (Νορβηγία 136 ημέρες, Φινλανδία 194 ημέρες και Σουηδία 266 ημέρες). Οι υπολογισμοί δεν περιλαμβάνουν φυσικές πηγές εκπομπής όπως η διάβρωση εδάφους, γι αυτό και εμπεριέχουν μικρές επιπτώσεις για την Ιβηρική Χερσόνησο (Ισπανία 254 ημέρες και Πορτογαλία 236 ημέρες). Οι υπολογισμοί αυτοί πρέπει να επανεξεταστούν για να ενισχυθούν με επιπρόσθετες πληροφορίες όπως και να συνυπολογιστούν οι φυσικές πηγές π.χ. από την έρημο Σαχάρα. Κατά μέσο όρο, ο προσδόκιμος χρόνος ζωής μειώθηκε κατά 491 ημέρες. Το 95% διάστημα εμπιστοσύνης αυτών των υπολογισμών εξαιτίας των αβεβαιοτήτων στις επιδημιολογικές μελέτες ποικίλει μεταξύ από ένα και πέντε μήνες στη Νορβηγία και εννέα μήνες και έξι χρόνια στην Κεντρική Ευρώπη.

Μέχρι το 2010, η εφαρμογή των μέτρων που συσχετίζονται με τον έλεγχο των αιωρούμενων σωματιδίων, υπολογίζεται ότι θα βελτιώσει το προσδόκιμο χρόνο ζωής, αυξάνοντάς το κατά 214 ημέρες. Οι μεγαλύτερες βελτιώσεις αναμένονται σε χώρες όπως είναι η Μεγάλη Βρετανία, η Γερμανία, η Ολλανδία, η Τσεχία και το Βέλγιο, όπου ο προσδόκιμος χρόνος ζωής αναμένεται να

μειωθεί περισσότερο από 50% σε σχέση με το 1990. Η πλήρης εφαρμογή μέτρων και νομοθεσίας επιφέρει κέρδος ζωής 184 ημερών. Αυτό συνεπάγεται ότι η πλήρης υιοθέτηση μέτρων και η εφαρμογή νομοθεσίας εξοικονομεί 2 μήνες ζωής στο προσδόκιμο χρόνο ζωής στις χώρες μέλη της ΕΕ και μεγαλύτερο χρόνο από 2 και ½ μήνες στις χώρες υπό ένταξη στην ΕΕ.

6.5.2 ΧΩΡΕΣ ΥΠΟ ΕΝΤΑΞΗ ΣΤΗΝ ΕΕ

Οι οδηγίες της ΕΕ σχετικά με τα αιωρούμενα σωματίδια αναμένεται να μειώσουν τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων από 1,8 έως και 3,3 εκατομμύρια τόνους μέχρι το 2010. Μέχρι τότε οι συνολικές εκπομπές των σωματιδίων, αν οι χώρες υπό ένταξη συμμορφωθούν πλήρως με τις Οδηγίες της ΕΕ οι συνολικές εκπομπές αναμένεται να φτάσουν από 0,4 έως και 1,8 εκατομμύρια τόνους. Χωρίς εναρμόνιση με τη νομοθεσία της ΕΕ το ποσό εκπομπής σωματιδίων στις υπό ένταξη χώρες μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 3,7 εκατομμύρια τόνους! Με άλλα λόγια παρατηρούμε ότι χωρίς την εφαρμογή νομοθεσίας οι εκπομπές σωματιδίων είναι διπλάσιες σε ποσότητα! Η μείωση όμως που προκύπτει από την εναρμόνιση με τη νομοθεσία έχει άμεση επίπτωση και στον βαθμό έκθεσης κινδύνου θνησιμότητας και εκδήλωσης νοσημάτων. Έτσι, όταν μειώνονται τα επίπεδα σωματιδίων, μειώνεται και βαθμός κινδύνου ανάπτυξης νοσημάτων ή θνησιμότητας. Στην ίδια μελέτη προκύπτει ότι αποφεύγονται με την πλήρη εφαρμογή νομοθεσίας στις υπό ένταξη χώρες 15.000 με 34.000 περιπτώσεις αιφνίδιων θανάτων ετησίως, μέχρι και το 2010 (The Benefits of Compliance with the Environmental Acquis, ECOTEC Research and Consulting Limited, July 2001).

Πίνακας 6.5: Περιπτώσεις αποφυγής θνησιμότητας ετησίως στις υπό ένταξη χώρες στην ΕΕ

<i>Χώρες</i>	<i>Περιπτώσεις αποφυγής θνησιμότητας ετησίως (50% μείωση PM) μέχρι το 2010</i>	<i>Περιπτώσεις αποφυγής θνησιμότητας ετησίως(90% μείωση PM)</i>
--------------	--------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------

Βουλγαρία	357	1163
Τσεχία	996	2216
Κύπρος	64	126
Εσθονία	136	635
Ουγγαρία	998	2704
Λετονία	171	443
Λιθουανία	101	225
Μάλτα	11	41
Πολωνία	7115	14344
Ρουμανία	2423	7199
Σλοβακία	714	1653
Σλοβενία	93	233
Τουρκία	1820	3468
ΣΥΝΟΛΟ	14999	34450

Τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη στις χώρες υπό ένταξη έχουν θετική επιρροή και στις χώρες που συνορεύουν με τις συγκεκριμένες χώρες όσο και μέσα στις ίδιες τις χώρες που επιτυγχάνουν τη μείωση στα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων.

Πίνακας 6.6: Περιπτώσεις Αποφυγής Νοσημάτων Ετησίως & Συνεπάγοντα Κέρδη

<i>ΧΩΡΕΣ</i>	<i>ΕΤΗΣΙΑ ΚΕΡΔΗ (ΕΚΑΤ €/ΕΤΟΣ)</i>	<i>ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΝΟΣΗΜΑΤΩΝ ΕΤΗΣΙΩΣ</i>
Κύπρος	20	99
Εσθονία	40	170
Ουγγαρία	580	1589

Λετονία	180	208
Λιθουανία	50	1061
Μάλτα	4	21
Πολωνία	2,600	5667
Ρουμανία	780	2493
Σλοβακία	380	1304
Σλοβενία	70	156
Τουρκία	2,180	26970

6.5.3 ΕΛΛΑΔΑ

Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία του ευρωπαϊκού προγράμματος **APHEIS** (που μελετά τη ρύπανση και τις επιπτώσεις της στην υγεία σε πάνω από 30 ευρωπαϊκές πόλεις), στους 100.000 θανάτους ετησίως στην Αθήνα οι 873 σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Από αυτούς, οι 441 οφείλονται σε καρδιαγγειακές παθήσεις και οι 72 σε αναπνευστικά προβλήματα. Ειδικά τα αιωρούμενα σωματίδια (PM10 και PM2,5) «ευθύνονται» για εκατοντάδες θανάτους (ανά 100.000) στην Αθήνα.

Πίνακας 6.7: Θάνατοι σχετίζονται με τη ρύπανση στην Αθήνα (ετησίως)

<i>Θνησιμότητα</i>	<i>Αριθμός θανάτων (ανά 100.000 πληθυσμού)</i>
Από όλες τις αιτίες θανάτου	873
Από καρδιαγγειακά προβλήματα	441
Από αναπνευστικά προβλήματα	72

Όπως προκύπτει από τη μελέτη, αν οι συγκεντρώσεις σωματιδίων μειώνονταν στα 15 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο (το 24ωρο) - από 52,12 που είναι σήμερα κατά μέσο όρο - ένας Αθηναίος 30 χρόνων θα μπορούσε να κερδίσει ως και 1,62 χρόνια ζωής. Το αντίστοιχο «κέρδος» στην ηλικία των 65 ετών είναι 1,28 χρόνια.

Στην **Ελλάδα**, σύμφωνα με μελέτες του Τμήματος Επιδημιολογίας της Ιατρικής Σχολής Αθηνών, εάν τα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων στην Αθήνα ήταν κάτω από 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (αντί των 52,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ που είναι τώρα), θα είχαμε 5.066 λιγότερους θανάτους κάθε χρόνο στην Αθήνα. Επιπλέον, μια τέτοια μείωση θα αύξανε το προσδόκιμο ζωής σχεδόν κατά ένα χρόνο για κάθε κάτοικο της Αθήνας.

Πίνακας 6.8: Κέρδος χρόνου ζωής στην Ελλάδα από έκθεση του πληθυσμού σε μειωμένες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων

Ηλικία	Προσδόκιμο ζωής (σε έτη)	Κέρδος (σε έτη)
Κατά τη γέννηση	78,41	0,24-1,62
30 ετών	49,48	0,25-1,65
65 ετών	17,79	0,19-1,28

Ο παραπάνω υπολογισμός κέρδους γίνεται με βάση την παραδοχή ότι η μέση συγκέντρωση είναι μόλις 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ όταν στην πραγματικότητα είναι 52,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Όπως προκύπτει από τη μελέτη, αν οι συγκεντρώσεις σωματιδίων μειώνονταν στα 15 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο (το 24ωρο) - από 52,12 που είναι σήμερα κατά μέσο όρο - ένας Αθηναίος 30 χρόνων θα μπορούσε να κερδίσει έως και 1,62 χρόνια ζωής. Το αντίστοιχο «κέρδος» στην ηλικία των 65 ετών είναι 1,28 χρόνια.

Αν μειωθεί το νέφος - σύμφωνα με τις οδηγίες της ΕΕ- κάθε Αθηναίος θα κερδίσει έως 1½ χρόνο ζωής. Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία του ευρωπαϊκού προγράμματος APHEIS (που μελετά τη ρύπανση και τις επιπτώσεις της στην υγεία σε πάνω από 30 ευρωπαϊκές πόλεις), στους 100.000 θανάτους ετησίως στην Αθήνα οι 873 σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Από αυτούς, οι 441 οφείλονται σε καρδιαγγειακές παθήσεις και οι 72 σε αναπνευστικά προβλήματα. Ειδικά τα αιωρούμενα σωματίδια (PM10 και PM2,5) «ευθύνονται» για εκατοντάδες θανάτους (ανά 100.000) στην Αθήνα.

6.5.4 ΗΠΑ

Με δεδομένη την εφαρμογή συγκεκριμένων μέτρων για την ελάττωση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων υπολογίζεται ότι μόνο στις ΗΠΑ, τα ετήσια κέρδη ποσοτικοποιημένα είναι από \$19 έως και \$104 δισεκατομμύρια ετησίως, αφού θεωρείται ότι θα αποφευχθούν τουλάχιστον 3,300 με 15,600 κρούσματα πρόωρης θνησιμότητας. Τα κέρδη που προκύπτουν από την αποφυγή θνησιμότητας αντιπροσωπεύουν από 12% ως και 70% των συνολικών κερδών που αποφέρουν τα μέτρα (EPA, 1997).

Κατά το 1997, η EPA θέσπισε το σώμα **Regulatory Impact Analyses** (RIA) για την αναθεώρηση της Εθνικής Νομοθεσίας που αφορά τον έλεγχο και τη διαχείριση των αιωρούμενων σωματιδίων. Το σώμα αυτό διεξήγαγε μία ανάλυση κόστους οφέλους, στην οποία προέκυψε ότι η μερική υιοθέτηση και εφαρμογή μέτρων διαχείρισης και ελέγχου των PM στα πλαίσια της Εθνικής Νομοθεσίας, θα είχε ως αποτέλεσμα τα καθαρά θετικά ετήσια κέρδη (κέρδη στην υγεία και στο περιβάλλον μείων το κόστος εφαρμογής των μέτρων) από \$19 έως και \$104 δισεκατομμύρια, κατά μήκος του κράτους. Η πλήρης εφαρμογή όλων των προτεινόμενων μέτρων αποφέρει κέρδη ακόμη μεγαλύτερα, από \$20 έως και \$110 δισεκατομμύρια (EPA, 1997b). Οι πολύ μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των εκτιμήσεων αποδίδονται στους υπολογισμούς

που αφορούν τη θνησιμότητα: οι υψηλού κόστους εκτιμήσεις χρησιμοποιούν τιμές θνησιμότητας μετά από μακροπρόθεσμη έκθεση του πληθυσμού σε αιωρούμενα σωματίδια, ενώ οι χαμηλότερες εκτιμήσεις χρησιμοποιούν τιμές θνησιμότητας μετά από μικρής διάρκειας έκθεση σε αυτά.

Πίνακας 6.9: οι εκτιμήσεις της RIA για τα ετήσια κέρδη λόγω των μειωμένων επιπτώσεων υγείας για το έτος 2010, που αποδίδονται στα χαμηλότερα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων (EPA, 1997b). Η θνησιμότητα καθώς και η χρόνια βρογχίτιδα είναι τα κέρδη υγείας που αφορούν το 91% με 97% του συνόλου των ποσοτικοποιημένων κερδών της υγείας

ΗΠΑ	ΕΤΗΣΙΑ ΚΕΡΔΗ (ΔΙΣΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ \$/ΕΤΟΣ)	ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΕΤΗΣΙΩΣ
Θνησιμότητα	1,8-75	3.300-15.600
Χρόνια Βρογχίτιδα	11,7-19,4	45.000-75.000
Βρογχίτιδα	0,001-0,001	12.000-20.000
Χαμένες εργατομημέρες	0,156-0,261	1.900.000-3.148.000
Μειωμένη παραγωγικότητα	0,600-1,000	15.697.000-26.128.000
Εισαγωγές στο νοσοκομείο από αναπνευστικές & καρδιαγγειακές δυσλειτουργίες	0,281-1,349	543.800-908.500
ΣΥΝΟΛΟ	\$14,484 - \$97,001	18.201.100-30.295.100

Οι υπολογισμοί του Πίνακα αφορούν μειώσεις περιστατικών υγείας και ποσοτικοποιημένα κέρδη που προκύπτουν από το συγκεκριμένο γεγονός, εφόσον πραγματοποιηθεί η εναρμόνιση με την σχετική νομοθεσία των αιωρούμενων σωματιδίων PM2.5.

Υπάρχει και η άποψη ότι δεν είναι σίγουρα τα αποτελέσματα μείωσης των αιωρούμενων σωματιδίων (PM10, PM2.5, PM1) στην υγεία, στην αύξηση προσδόκιμου χρόνου ζωής, την πρόληψη ασθενειών. Κάποιοι επιστήμονες διατηρούν σοβαρές επιφυλάξεις. Με βάση την άποψή τους, τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται και προβλέπουν μειώσεις στη θνησιμότητα εξαιτίας της μειωμένης συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων βασίζονται σε τοξικολογικές έρευνες και παραδοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται συνήθως από μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας και έτσι οι εκτιμήσεις που προκύπτουν δεν μπορεί να είναι ασφαλείς και ρεαλιστικές (*Quantifying the health benefits of reducing concentrations of ambient particulate matter (PM): Why we cannot do it yet.* Laura C. Green, Ph.D., D.A.B.T., Michael R. Ames, Sc.D., Sarah R. Armstrong, M.S., M.S., and Edmund A.C. Crouch, Ph.D., Cambridge Environmental Inc, 2004).

Παρόλες τις αμφισβητήσεις, υπάρχουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έχουμε εκθέσει παραπάνω εκτενώς μέσω των οποίων αποδεικνύεται η μέχρι τώρα βελτίωση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής. Και κατά προέκταση οι θετικές επιδράσεις στην οικονομία κάθε χώρας. Για τον λόγο αυτό απαιτείται η συνέχιση των προσπαθειών για την εναρμόνιση με την παρούσα νομοθεσία και την επίτευξη μέσω της συγκεκριμένης εναρμόνισης με τους υπόλοιπους στόχους που αφορούν στην περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας ζωής και στην συμβολή στην αειφόρο ανάπτυξη.