

Η μεταβλητότητα του SO₂ στην Αθήνα (1984-1996) και η επίδραση των ανεμολογικών συνθηκών

Κωνσταντίνος Παγώνης

3ο ΤΕΕ Αργάλεω

Περίληψη

Από την επεξεργασία των μετρήσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ΠΕΡΠΑ-σταθμός Γεωπονικής Σχολής) διαπιστώθηκε ότι η ετήσια κατανομή των επεισοδίων ρύπανσης διοξειδίου του θείου, ($[SO_2] > 200 \mu g/m^3$), παρ' ότι εμφανίζει τα αναμενόμενα μέγιστα το χειμώνα (Δεκέμβριος), εν τούτοις καταγράφεται ένα ισχυρό δευτερεύον μέγιστο κατά τη θερινή περίοδο (Ιούλιος), γεγονός το οποίο δεν είναι σε συμφωνία με τον πρωτογενή χαρακτήρα του SO₂ ως ρύπου. Στην παρούσα μελέτη επιχειρείται μια προσπάθεια ερμηνείας του φαινομένου αυτού και ταυτόχρονα διερευνάται η μεταβλητότητα της συγκέντρωσης του SO₂ κατά τους μήνες της θερμής περιόδου (Μάιος-Σεπτέμβριος) των ετών 1984-1996. Εξετάστηκε επίσης η υφιστάμενη σχέση μεταξύ της συχνότητας των επεισοδίων ρύπανσης με τα ανεμολογικά στοιχεία (διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου) καθώς και ο βαθμός επίδρασης της συγκέντρωσης SO₂ στο αίσθημα της βιοκλιματικής δυσφορίας, όπως αυτό εκφράζεται από το Δείκτη Δυσφορίας του Thom. Το πρωτογενές υλικό αποτελείται από τα στοιχεία της κοινής περιόδου των παρατηρήσεων (1984-1996) θερμοκρασίας ξηρού (Td) και υγρού (Tw) θερμομέτρου καθώς και από τις ωριαίες τιμές ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Το υλικό παρατηρήσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης της αυτής χρονικής περιόδου, αφορά μετρήσεις $[SO_2]$, $[CO]$, $[NO]$ και $[NO_2]$, του ΠΕΡΠΑ από το σταθμό ρύπανσης της Γεωπονικής Σχολής (ο εγγύτερος προς το Εθνικό Αστεροσκοπείο). Η στατιστική επεξεργασία των ως άνω μετρήσεων έγινε επί των ημερησίων τιμών των παραμέτρων για την καλύτερη αξιοπιστία του δείγματος.

Abstract

Common period (1984-1996) data observations, from the meteorological station of the National Observatory of Athens (Td, Tw) and from the records of the Atmospheric Pollution and Noise Control Division, Ministry of Environment, [SO₂], were analyzed. The relationship between the high concentration values of SO₂ (episodes number) and the wind direction and velocity during the thermal annual period were investigated. The influence of the air pollution in the magnitude of the bioclimatic discomfort were also examined. For the statistical treatment daily data observations (for reliable sample) were used and the daily mean concentration and the episodes number were analyzed.

Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι ο βαθμός επίδρασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον άνθρωπο εξαρτάται όχι μόνο από το μέσο επίπεδο των συγκεντρώσεων των διαφόρων ρύπων αλλά και από την συχνότητα υπέρβασης των ορίων (επεισόδια ρύπανσης), τα οποία έχουν θεσπιστεί από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (Π.Ο.Υ., 1975), για τις συγκεντρώσεις αυτών.

Για την περιοχή της Αττικής το ΠΕΡΠΑ, σε συνεργασία με την Π.Ο.Υ., έχει θεσπίσει όρια επιφυλακής και συναγερμού σχετικά με τις συγκεντρώσεις των αερίων ρύπων. Στον πίνακα 1 αναγράφονται τα όρια για κάποιους εκ των ρύπων αυτών.

(Στους πίνακες Α, Β και Γ του παραρτήματος αναγράφονται τα επικαιροποιημένα καθώς και τα μελλοντικά όρια σύμφωνα με τις Κοινοτικές Οδηγίες)

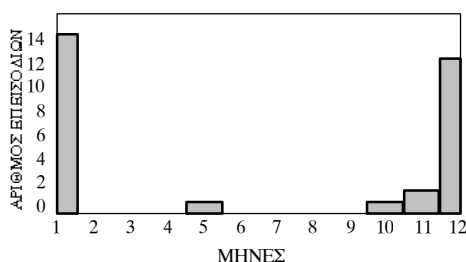
Πίνακας Ι: Διαβάθμιση μέτρων σχετικά με τη ρύπανση της ατμόσφαιρας για την Αττική

Διαβάθμιση μέτρων	ΚΑΠΙΝΟΣ (μg/m ³) Μέση τιμή 24ώρου	[SO ₂] (μg/m ³) Μέση τιμή 24ώρου	[NO ₂] (μg/m ³) Μέση τιμή 24ώρου	[CO] (μg/m ³) Μέση τιμή δύορου
Όριο επιφυλακής	250	200	200	15
Όριο συναγερμού	600	500	700	35

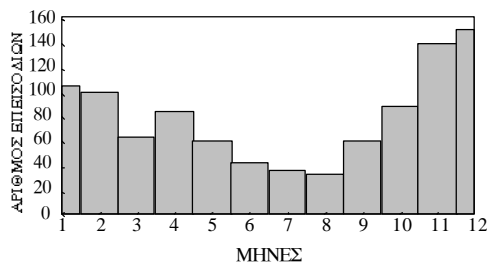
Σημειώνεται ότι τα ανώτατα επιτρεπτά όρια 24ώρου για [SO₂] (μg/m³) στις ΗΠΑ είναι 365, στον Καναδά 300 και στην Ε.Ε. 200.

Τα τελευταία χρόνια, μετά την εφαρμογή προστατευτικών μέτρων όπως η βελτίωση της ποιότητας των καυσίμων (αποθείωση) και η αντικατάσταση του μεγαλύτερου μέρους αυτοκινήτων παλαιάς τεχνολογίας με καταλυτικά, έχει σημειωθεί μία τάση μείωσης στη μέση συγκέντρωση αρκετών ρύπων (Κανελλοπούλου, 1990 και 1998). Είναι επομένως ενδιαφέρον να εξεταστεί, αφ' ενός αν σημειώνεται αντίστοιχα τάση μείωσης των επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αφ' ετέρου ο βαθμός επίδρασης αυτών στο αίσθημα βιοκλιματικής δυσφορίας και, τέλος, αν και πώς επιδρά ο κλιματικός παράγοντας. Επιπλέον, όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης για την περίοδο 1984-1996 (σχήματα 1-4), μόνο το SO_2 παρουσιάζει δευτερεύον μέγιστο επεισοδίων τους καλοκαιρινούς μήνες, παρά το γεγονός ότι οι κεντρικές θερμάνσεις δεν λειτουργούν και η κυκλοφορία των οχημάτων στην Αθήνα είναι μειωμένη. Κρίθηκε επομένως σκόπιμο να μελετηθεί η διακύμανση του SO_2 κυρίως κατά τη θερμή περίοδο των ετών 1984-1996.

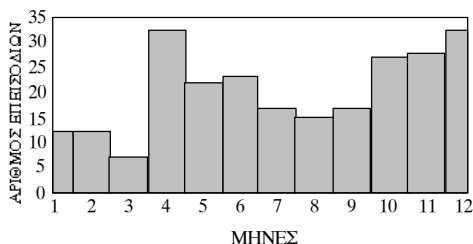
Σχήμα 1: Μέση μηνιαία κατανομή των επεισοδίων ρύπανσης CO



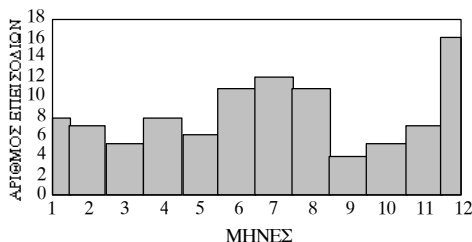
Σχήμα 2: Μέση μηνιαία κατανομή των επεισοδίων ρύπανσης NO



Σχήμα 3: Μέση μηνιαία κατανομή των επεισοδίων ρύπανσης NO_2



Σχήμα 4: Μέση μηνιαία κατανομή των επεισοδίων ρύπανσης SO_2



Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Οι κυριότερες πηγές παραγωγής SO₂ είναι η καύση στερεών καυσίμων (γαιάνθρακες, λιγνίτης) με συμμετοχή περίπου 60% και η καύση υγρών καυσίμων (20%) στις βιομηχανίες και στις κεντρικές θερμάνσεις, ενώ η συμμετοχή της αυτοκίνησης είναι σχετικά μικρή, περίπου 4%. Το SO₂ πέραν της δικής του τοξικότητας, εμπλέκεται σε περίπλοκες φυσικοχημικές διεργασίες που οδηγούν στον σχηματισμό όξινης βροχής με τις γνωστές καταστρεπτικές συνέπειες στο περιβάλλον (Δικαιάκος, 1987). Η οξειδωση του SO₂ σε SO₃ οφείλεται σε οξειδωτικά σώματα, όπως το όζον. Το όζον είναι δευτερογενής ρύπος παραγόμενος κατά τον φωτολυτικό κύκλο του NO₂. Σε καθαρή ατμόσφαιρα η φωτοδιέγερση και φωτόλυση του NO₂ από την υπεριώδη ακτινοβολία δεν οδηγεί σε παραγωγή περιόσειας O₃. Η παρουσία όμως υδρογονανθράκων «σπάξει» τον φωτολυτικό κύκλο με αποτέλεσμα την παραγωγή ισχυρά οξειδωτικών σωμάτων όπως O₃, [O], O* (Σίσκος, 1990).

Η δράση αυτών των οξειδωτικών επί των υδρογονανθράκων και των οργανικών ριζών της ατμόσφαιρας παράγει τη φωτοχημική αιθαλομίχλη, ενώ ταυτόχρονα οξειδώνει το SO₂ σε SO₃ το οποίο προκαλεί αύξηση της οξύτητας των υδροσταγόνων της βροχής με συνέπεια το φαινόμενο της όξινης βροχής. Στη χώρα μας οι επιπτώσεις της όξινης βροχής είναι δραματικές, διότι εκτός των άλλων, σχετίζονται με τη βαθμιαία διάβρωση των μαρμάρινων μνημείων της αρχαιότητας (Skoulikidis, 1983).

Αποτελέσματα της επεξεργασίας των μετρήσεων

Στο σχήμα 5 καταγράφεται η μέση μηνιαία κατανομή των συγκεντρώσεων του SO₂ κατά την περίοδο 1984-1996 καθώς και οι υπερβάσεις του ορίου των 200μg/μ³ (επεισόδια ρύπανσης).

Η ημερήσια κατανομή των επεισοδίων SO₂ (σχ. 6) παρουσιάζει κύριο μέγιστο στις 9 π.μ. (31%) και ασθενή δευτερεύοντα μέγιστα στις 3 μ.μ (6%), στις 8 μ.μ. (6%) και στις 12 μ.μ.(5%).

Η ετήσια κατανομή (σχ. 4) των επεισοδίων ρύπανσης, όπως προαναφέρθηκε, παρά το γεγονός ότι εμφανίζει τα αναμενόμενα μέγιστα κατά τον χειμώνα (Δεκέμβριος, 16%), εν τούτοις εμφανίζει ένα ισχυρό δευτερεύον μέγιστο κατά την θερινή περίοδο (Ιούλιος, 12%), γεγονός το οποίο δεν είναι σε συμφωνία με τον πρωτογενή χαρακτήρα του SO₂ ως ρύπου. Στην παρούσα μελέτη επιχειρείται μια προσπάθεια ερμηνείας του φαινομένου.

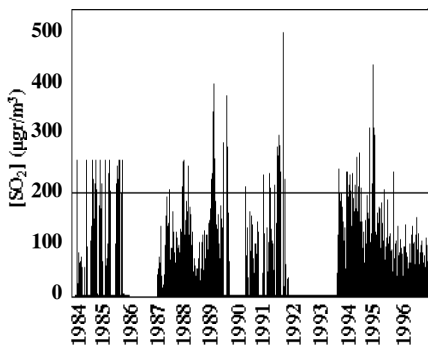
Όσον αφορά την από έτους σε έτος κατανομή των επεισοδίων (σχ. 7), δεν καταγράφεται μία σαφής εικόνα μεταβολής, ενώ θα πρέπει να επισημανθεί η

απουσία παρατηρήσεων κατά τα έτη 1986 και 1992 (λόγω βλάβης των μετρητών).

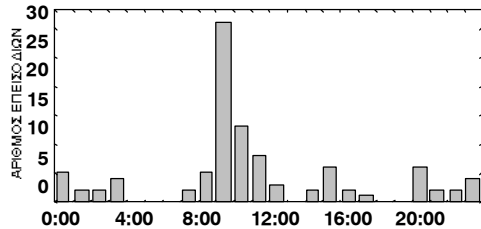
Ο έλεγχος της τάσης με το κριτήριο Mann-Kendall δεν έδειξε στατιστικά σημαντική μεταβολή. Θα πρέπει όμως να τονισθεί το γεγονός της πλήρους απουσίας επεισοδίων κατά το 1996 με παρατηρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Ομοίως η διαχρονική τάση μεταβολής της μέσης συγκέντρωσης δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική (σχ. 8, συνεχής γραμμής), αλλά καταγράφεται από το 1992 και μετά σαφέστατη πτωτική τάση της τάξεως του 50%, (σχ. 8, διακεκομμένη γραμμή πολυωνμικής εξομάλυνσης).

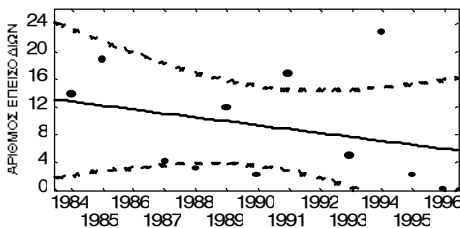
Σχήμα 5: Μέση μηνιαία κατανομή $[SO_2]$ κατά την περίοδο 1984-1996



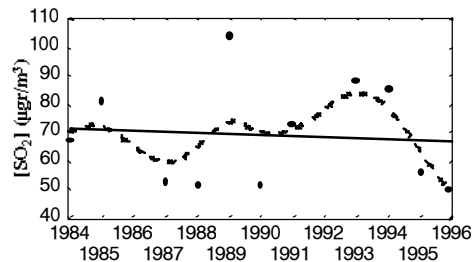
Σχήμα 6: Μέση κατανομή των επεισοδίων SO_2 κατά τη διάρκεια του 24ώρου



Σχήμα 7: Διαχρονική τάση μεταβολής των επεισοδίων ρύπανσης SO_2 της περιόδου 1984-96 στην Αθήνα



Σχήμα 8: Διαχρονική τάση μεταβολής της μέσης ετήσιας συγκέντρωσης $[SO_2]$ της περιόδου 1984-96 στην Αθήνα



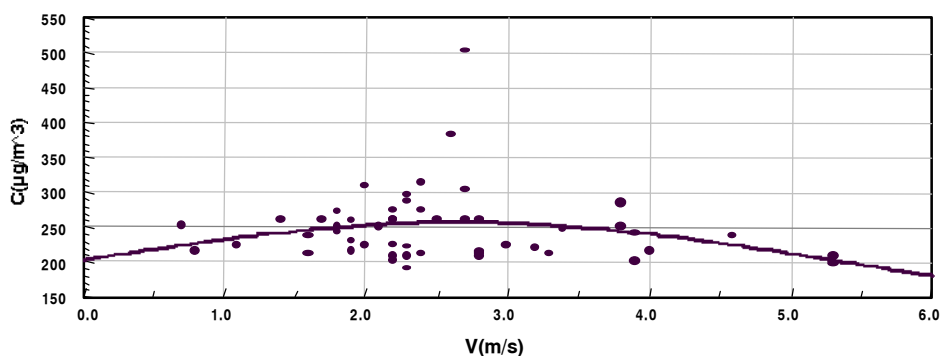
Η επίδραση του ανέμου

Εξετάστηκε η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στις τιμές των συγκεντρώσεων του SO_2 κατά τη διάρκεια των επεισοδίων ρύπανσης. Βρέθηκε ότι οι μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων σημειώνονται για τιμές ταχύτητας μεταξύ 2m/s-3m/s, ενώ για τιμές ταχύτητας μεγαλύτερες των 4m/s καταγράφεται σημαντική μείωση (σχ. 9). Η καμπύλη καλύτερης προσαρμογής υπακούει στην εξίσωση $y=1/a+bx+cx^2$, ενώ τα στατιστικά χαρακτηριστικά της «best fit analysis» αναγράφονται στον πίνακα II.

Πίνακας II: Αποτελέσματα της «best fit analysis»

Reciprocal Quadratic:	Coefficient Data:	Std Error: 50.96
$y=1/(a+bx+cx^2)$	$a = 0.0050, b = -0.0009, c = 0.0002$	Corr. Coeff.: 0.36

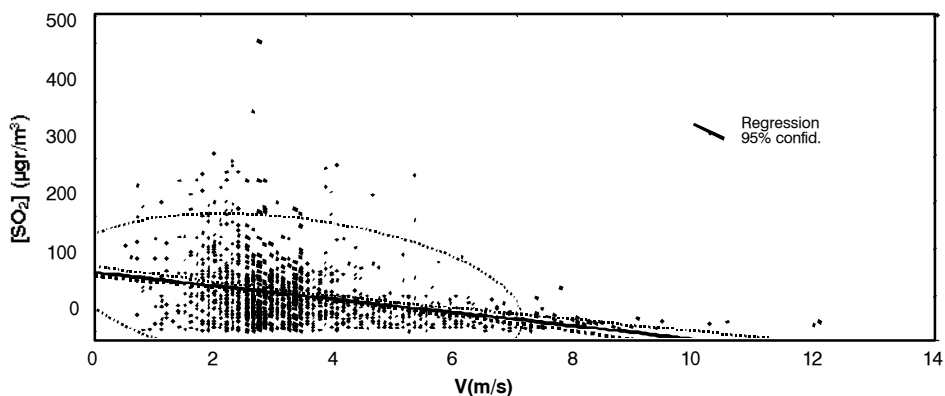
Σχήμα 9: Η επίδραση της ταχύτητας ανέμου V στα επεισόδια ρύπανσης



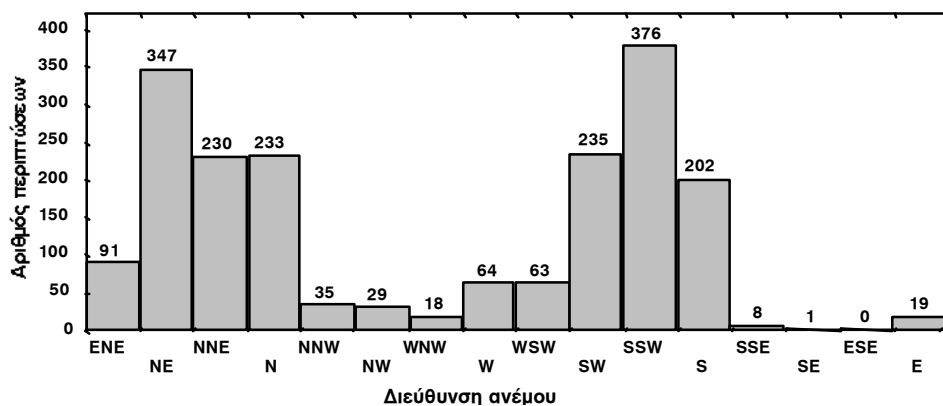
Εξετάστηκε επίσης η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στις τιμές των συγκεντρώσεων του SO_2 καθ' όλη τη διάρκεια της θερμής περιόδου των ετών 1984-1996. Βρέθηκε ότι η συγκέντρωση μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου (σχ. 10), ενώ η εφαρμογή του απλού γραμμικού μοντέλου συσχέτισης (SPIEGEL, 1975), έδωσε τα εξής αποτελέσματα: συντελεστής συσχέτισης $r=-0,35$ και εξίσωση της ευθείας παλινδρόμησης $[\text{SO}_2] = 102,8-11,8V$.

Η επίδραση της διεύθυνσης του ανέμου στα επεισόδια ρύπανσης της θερμής περιόδου είναι καθοριστική. Οι επικρατούντες άνεμοι κατά τους μήνες της θερμής περιόδου των ετών 1984-1996 (πίν. III) είναι νοτιονοτιοδυτικοί (SSW) με συχνότητα 376 (20%) και βορειοδυτικοί (NE) με συχνότητα 347 (18%).

Σχήμα 10: Η επίδραση της ταχύτητας ανέμου στη συγκέντρωση του SO_2

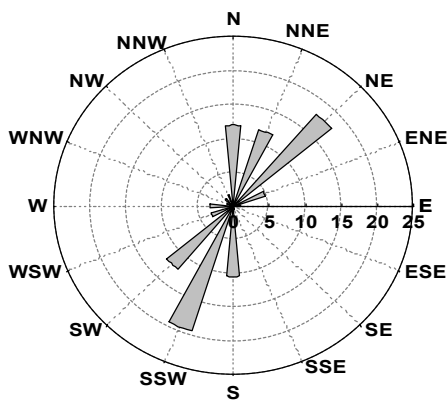


Σχήμα 11: Κατανομή των διευθύνσεων του ανέμου κατά τους μήνες της θερινής περιόδου των ετών 1984-1996

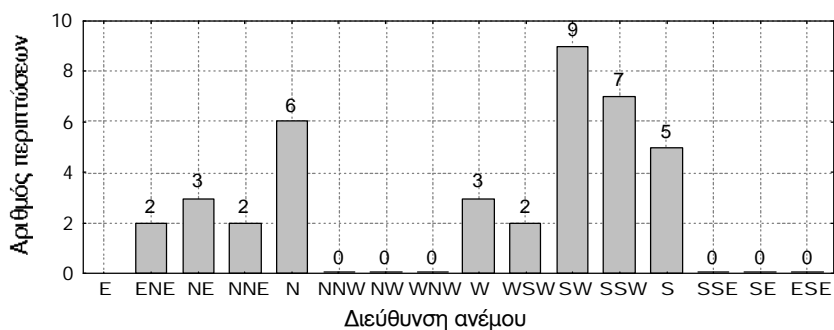


Όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων (πίν. III, σχ. 13-14) οι άνεμοι του δυτικού τομέα έχουν την μεγαλύτερη συνεισφορά στα επεισόδια ρύπανσης. Συγκεκριμένα, ο μέγιστος αριθμός επεισοδίων συνδέεται με νοτιοδυτικούς ανέμους (SW) αλλά η σχετική συνεισφορά στα επεισόδια ρύπανσης σχετίζεται με δυτικούς (πίν. III). Γενικά, (SMIRNIOUDI, 1992) οι άνεμοι του νοτιοδυτικού τομέα λόγω του γεγονότος ότι πνέουν υπεράνω της βιομηχανικής ζώνης του Κερατσινίου - Περάματος - Πειραιά- Ελευσίνας συμβάλλουν στην αύξηση των επεισοδίων ρύπανσης.

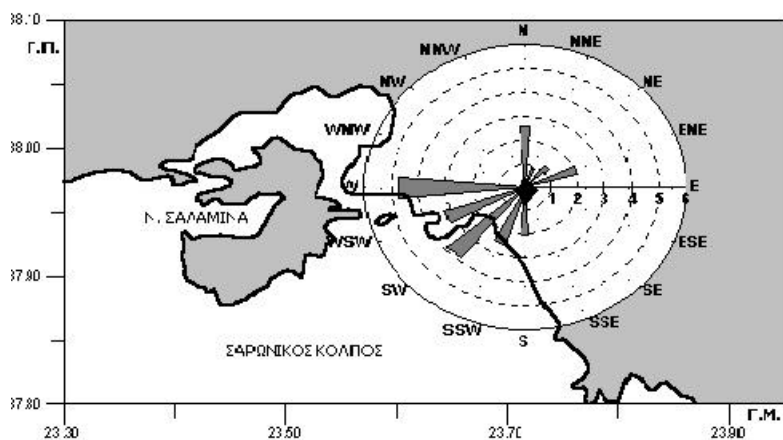
Σχήμα 12: Σχετικές διευθύνσεις πνεόντων ανέμων κατά τους μήνες της θερμής περιόδου των ετών 1984-1996



Σχήμα 13: Αριθμός επεισοδίων ρύπανσης ανά διεύθυνση ανέμου



Σχήμα 14: Σχετική συνεισφορά της διεύθυνσης ανέμων στα επεισόδια ρύπανσης



Πίνακας III

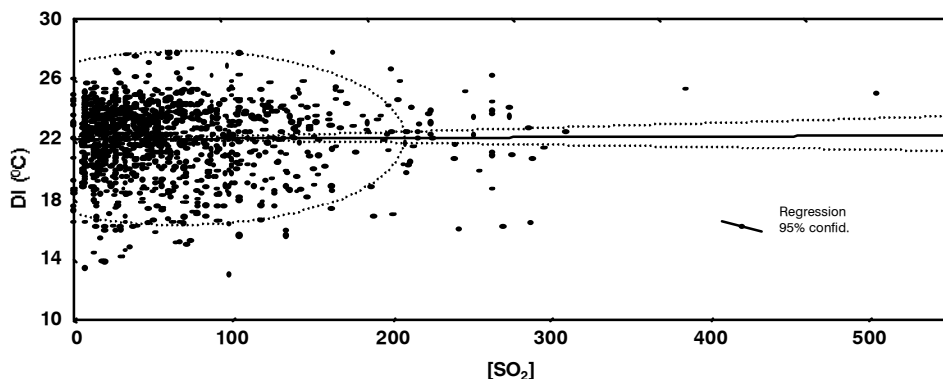
ΠΙΝΟΗ ΑΝΕΜΟΥ			ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ		
Διεύθυνση ανέμου	Απόλυτη συχνότητα f	Σχετική συχνότητα $F=f/\Sigma f_i$ (%)	Συχνότητα επεισοδίων ρύπανσης η	Σχετική συχνότητα επεισοδίων ρύπανσης $N = \eta/\Sigma \eta_i$ (%)	Σχετική συνεισφορά των πνεόντων ανέμων στα επεισόδια ρύπανσης $r=n/f$ (%)
ENE	91	4,7%	3	7,0%	3,3%
NE	347	17,8%	4	9,3%	1,2%
NNE	230	11,8%	2	4,7%	0,9%
N	233	11,9%	8	18,6%	3,4%
NNW	35	1,8%	0	0,0%	0,0%
NW	29	1,5%	0	0,0%	0,0%
WNW	18	0,9%	0	0,0%	0,0%
W	64	3,3%	3	7,0%	4,7%
WSW	63	3,2%	2	4,7%	3,2%
SW	235	12,0%	9	20,9%	3,8%
SSW	376	19,3%	7	16,3%	1,9%
S	202	10,4%	5	11,6%	2,5%
SSE	8	0,4%	0	0,0%	0,0%
SE	1	0,1%	0	0,0%	0,0%
ESE	0	0,0%	0	0,0%	0,0%
E	19	1,0%	0	0,0%	0,0%

Ο βιοκλιματικός παράγοντας

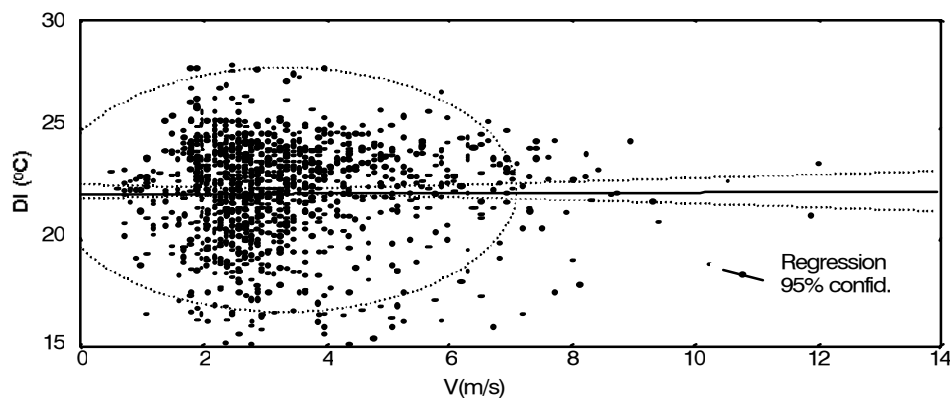
Για τον προσδιορισμό της συμβολής του SO₂ στο αίσθημα της βιοκλιματικής δυσφορίας, εξετάστηκε η συσχέτιση των συγκεντρώσεων [SO₂], σε ημερήσια βάση, κατά τους μήνες της θερμής περιόδου των ετών 1984-1996 με τις αντίστοιχες ημερήσιες τιμές του δείκτη δυσφορίας $DI=0,4(T_d+T_w)+4,8$ (THOM, 1959), με τη χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου συσχέτισης (σχ. 15). Δεν διαπιστώθηκε (σε επ. εμπ. 95%) ουδεμία επίδραση εφ' όσον ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε $r=0,034$, η δε εξίσωση της ευθείας παλινδρόμησης είναι $DI=22,07+0,0004[SO_2]$.

Εξετάστηκε, επίσης, η συσχέτιση της ταχύτητας του ανέμου σε ημερήσια βάση, κατά τους μήνες της θερμής περιόδου των ετών 1984-1996 με τις αντίστοιχες ημερήσιες τιμές του δείκτη δυσφορίας DI (σχ.16). Ομοίως, ουδεμία σημαντική επίδραση βρέθηκε (σε επ. εμπ. 95%). Ο συντελεστής συσχέτισης είναι $r=0,02$ και η εξίσωση της ευθείας παλινδρόμησης $DI=22,1+0,03V$.

Σχήμα 15: Επίδραση της $[SO_2]$ στο αίσθημα δυσφορίας



Σχήμα 16: Επίδραση της ταχύτητας V του ανέμου στο αίσθημα δυσφορίας



Συζήτηση - Συμπεράσματα

Αναφορικά με την περίοδο των ετών 1984-96 που εξετάστηκε:

Διαπιστώθηκε μείωση των επεισοδίων ρύπανσης SO_2 από έτος σε έτος (μη στατιστικά σημαντική) και επισημαίνεται το γεγονός της πλήρους απουσίας επεισοδίων κατά το 1996. Η μέση ετήσια συγκέντρωση του SO_2 εμφανίζει πτωτική τάση (επίσης, μη στατιστικά σημαντική), ιδιαίτερα μετά το 1992 και κατά την περίοδο 93-96 υποδιπλασιάζεται.

Η ημερήσια κατανομή των επεισοδίων SO_2 , παρουσιάζει κύριο μέγιστο στις 9 π.μ. (31%).

Η ετήσια κατανομή των επεισοδίων εμφανίζει τα αναμενόμενα μέγιστα κατά τον χειμώνα (Δεκέμβριος, 16%), και ένα ισχυρό δευτερεύον μέγιστο κατά τη θερινή περίοδο (Ιούλιος, 12%). Το φαινόμενο αυτό ενδεχομένως να οφείλεται σε ανέμους του δυτικού τομέα, οι οποίοι καθώς πνέουν υπεράνω της βιομηχανικής ζώνης του Κερατσινίου - Περάματος - Πειραιά - Ελευσίνας, συμβάλλουν στην αύξηση των επεισοδίων ρύπανσης κατά τους θερινούς μήνες.

Βρέθηκε ότι οι μέγιστες τιμές συγκεντρώσεων SO₂ κατά τα επεισόδια ρύπανσης σημειώνονται για τιμές ταχύτητας ανέμου μεταξύ 2m/s-3m/s.

Η συγκέντρωση SO₂ μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας ενώ η εφαρμογή του απλού γραμμικού μοντέλου συσχέτισης έδωσε τα εξής αποτελέσματα: συντελεστής συσχέτισης $r=-0,35$ και εξίσωση της ευθείας παλινδρόμησης $[SO_2] = 102,8 - 11,8V$.

Οι άνεμοι του δυτικού - νοτιοδυτικού τομέα έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στα επεισόδια ρύπανσης λόγω του γεγονότος ότι πνέουν υπεράνω της βιομηχανικής ζώνης του Κερατσινίου - Περάματος - Πειραιά - Ελευσίνας.

Ο μέγιστος αριθμός επεισοδίων συνδέεται με νοτιοδυτικούς ανέμους (SW) αλλά η σχετική συνεισφορά στα επεισόδια ρύπανσης σχετίζεται με δυτικούς ανέμους (W).

Εξετάστηκε η συσχέτιση του δείκτη δυσφορίας $DI=0,4(T_d+T_w)+4,8$ σε ημερήσια βάση, κατά τους μήνες της θερμής περιόδου των ετών 1984-1996 με τις αντίστοιχες ημερήσιες τιμές των συγκεντρώσεων $[SO_2]$, και της ταχύτητας του ανέμου $V(m/s)$. Δεν βρέθηκε ουδεμία στατιστικά σημαντική συσχέτιση. Η έλλειψη συσχέτισης μεταξύ $[SO_2]$ και DI ουσιαστικά εκφράζει ότι κατά τους θερινούς μήνες η συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την υγρασία, γεγονός το οποίο είναι σε συμφωνία με το χαρακτήρα του SO₂ ως πρωτογενούς ρύπου και βιομηχανικής κυρίως προέλευσης κατά τους θερινούς μήνες. (Επισημαίνεται ακόμη, ότι δεν είναι δυνατό να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα για τη σχέση του SO₂, και πολύ περισσότερο της ρύπανσης γενικότερα, με το αίσθημα της βιοκλιματικής δυσφορίας, όπως αυτό ορίζεται με τον ως άνω δείκτη του Thom).

Παράρτημα

Πίνακας Α: Ρύποι, όρια και έτος εφαρμογής σύμφωνα με τις Οδηγίες της Ε.Ε.

Ρύπος	Οριακή τιμή	Έτος ισχύος	Ενδεικτική οριακή τιμή για προετοιμασία			
			2002	2003	2004	2005
CO	10 mg/m ³	2005	16	14	12	10
	Μέγιστη ημερήσια τιμή δώρου		mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
C ₆ H ₆	5 μg/m ³	2010	10	10	10	10
	Μέση ετήσια τιμή		mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
SO ₂	350 μg/m ³ Μέση ωριαία τιμή.	2005	440	410	380	350
	Επιτρεπτή υπέρβαση ≤ 24 φορές/έτος		mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
	125 μg/m ³ Μέση ημερήσια τιμή.	2005	125	125	125	125
	Επιτρεπτή υπέρβαση ≤ 3 φορές/έτος		mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
NO ₂	200 μg/m ³ Μέση ωριαία τιμή.	2010	280	270	260	250
	Επιτρεπτή υπέρβαση ≤ 18 φορές/έτος		mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
	40 μg/m ³	2010	56	54	52	50
	Μέση ετήσια τιμή		mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
Αιωρούμενα σωματίδια ΑΣ ₁₀	50 μg/m ³ Μέση ημερήσια τιμή.	2005	65	60	55	50
	Επιτρεπτή υπέρβαση ≤ 35 φορές/έτος		mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
	40 μg/m ³	2005	44,8	43,2	41,6	40
	Μέση ετήσια τιμή		mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
Pb	0,5 μg/m ³	2005	0,8	0,7	0,6	0,5
	Μέση ετήσια τιμή		mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³

Πίνακας Β: Όρια του όξοντος σύμφωνα με την Οδηγία 2002/3/ΕΕ

Όξον O ₃	Παράμετρος	Όριο
Όριο ενημέρωσης	Μέση ωριαία τιμή	180 μg/m ³
Όριο συναγερμού	Μέση ωριαία τιμή για τρεις συνεχόμενες ώρες	240 μg/m ³
Τιμή - στόχος	Μέγιστη ημερήσια μέση τιμή δώρου,	120 μg/m ³
Έτος ισχύος 2010	Επιτρεπτή υπέρβαση ≤ 25 φορές για διάστημα 3 ετών	

Πίνακας Γ: Επικαιροποιημένα όρια λήψης έκτακτων μέτρων

ΡΥΠΟΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ	ΟΡΙΟ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ	ΟΔΗΓΙΑ
NO ₂	1 h	400 µg/m ³ υπέρβαση για 3 συνεχόμενες ώρες	1999/30/EK
SO ₂	1 h	500 µg/m ³ υπέρβαση για 3 συνεχόμενες ώρες	1999/30/EK
O ₃	1 h	240 µg/m ³ υπέρβαση για 3 συνεχόμενες ώρες	2002/3/EK
Καπνός	24 h	250 µg/m ³ Στάδιο προειδοποίησης (KYA11824/93)	300 µg/m ³ Α΄ Βαθμίδα (KYA11824/93)
			400 µg/m ³ Β΄ Βαθμίδα (KYA11824/93)

ΠΗΓΗ:

Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. Γεν. Δ/ση Περιβάλλοντος, Δ/ση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (2003)

Βιβλιογραφία

- Ασημακόπουλος, Δ. (1982). *Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Στατιστικής*. Μεταπτυχιακό Ενδεικτικό Μετεωρολογίας. Αθήνα.
- Δικαιάκος, Ι.Γ. (1987). *Δειγματοληψία και χημική ανάλυση της βροχής στην Αθήνα*. Δημοσιεύματα Εργαστηρίου Κλιματολογίας, Νο 23. Αθήνα.
- Κανδήλης, Φ., Παγώνης, Κ., Νάστος, Π. (1998). Μέθοδος υπολογισμού της θερμοκρασίας υγρού θερμόμετρου & εφαρμογή της στον υπολογισμό της ωριαίας τιμής του Δείκτη «Di» κατά τον Ιούνιο 1987. *4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας & Φυσικής της Ατμόσφαιρας- Ε.Μ.Υ.* 23/9-26/9/98).
- Κανελλοπούλου, Ε.Α. (1990). *Τάση μεταβολής των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων SO₂ στην Αθήνα*. Επιστημονικά Δημοσιεύματα εις μνήμην Λ. Καραπιπέρη, σελ. 133-134. Αθήνα.
- Κανελλοπούλου, Ε.Α. (1998). *Ρύπανση του Περιβάλλοντος και Στοιχεία Εφαρμοσμένης Κλιματολογίας*. Εκδόσεις Παπαδάμη, σελ. 191. Αθήνα.
- Kalkstein. L. S. (1982). The weather stress index. *NOAA Technical Procedures Bulletin*, 324, 1-16
- Masterson, J. & Richardson F. A. (1979). Humidex, A Method of Quantifying Human Discomfort Due to Excessive Heat and Humidity. *Environment Canada, Downsview, Ontario*, 45 pp.
- Παγώνης Κ.Α. (2000). Το Βιοκλιματικό καθεστώς της Ελλάδος κατά την περίοδο του Ιουνίου. *ΜΕΝΤΟΡΑΣ*, 2, Αθήνα

- Π.Ο.Υ., (1975). *Πρόγραμμα ελέγχου ρυπάνσεως περιβάλλοντος της Παγκ. Οργάνωσης Υγείας (Π.Ο.Υ.)*. Εκδόσεις Υπουργείου Κοινωνικών Υπηρεσιών, Τόμος Ι. Αθήνα
- Σίσκος, Π.Α. (1990). *Περιβαλλοντική Χημεία*. Τόμος Ι, σελ., 118-120. Αθήνα.
- Skoulikidis, T.N., (1983). Effects of primary and secondary air pollutants and acid deposition on (ancient and modern) buildings and monuments. In *Proc. EEC Symp. Acid Deposition a Challenge for Europe, Karlsruhe, F.R.G.*, pp 193-226.
- Smirnioudi, V.N., SISKOS, P.A., (1992). Chemical composition of wet and dust deposition in Athens, Greece. *Atmospheric Environment*. Vol. 26B No 4, pp 483-490.
- Spiegel, M.R., (1975). *Πιθανότητες και Στατιστική*. σελ. 258-263. Αθήνα.
- Thom, E.C., (1959). The Discomfort Index. *Weatherwise*, Vol.12, No 2, pp 57-60
- National Observatory of Athens. *Climatological Bulletin*. Years 1984-1996.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. Δ/νση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης & Θορύβου (ΠΕΡΠΑ). *Μετρήσεις Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης στην περιοχή της Αθήνας*, Ετών 1984-96.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. Γεν. Δ/νση Περιβάλλοντος. Δ/νση Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου (ΕΑΡΘ). *Ατμοσφαιρική Ρύπανση στην Αθήνα*. Έκθεση 2003.
- Weiss, M. H., (1983). Quantifying summer discomfort. *Bulletin American Meteorological Society*. No 64, pp 654-655.