



συμπόσιο: ατμοσφαιρική ρύπανση και υγεία

Νομοθετικά μέτρα για την καταπολέμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης Π. Δάλλα-Βοργιά, Α. Πανατζοπούλου	81
Προσδιορισμός των μετεωρολογικών συνθηκών που ευνοούν την εμφάνιση επεισοδίων ρύπανσης στο λεκανοπέδιο Αθηνών Δ.Ν. Ασημακόπουλος, Γ. Κάλλος, Γ. Καρράς, Δ.Π. Λάλας, Μ.Δ. Λοϊζίδου	86
Ατμοσφαιρική ρύπανση στο λεκανοπέδιο Αθηνών: διαχρονικές τάσεις, ημερήσιες διακυμάνσεις και συνδιακύμανση των ρύπων Γ. Τουλούμη, Κ. Κατσουγιάννη	97
Αξιολόγηση ατμοσφαιρικής ρύπανσης από διοξείδιο του αζώτου στην περιοχή της Αθήνας σε σχέση με τα όρια που ισχύουν Μ. Φρούσου - Πόγκα	104
Αξιολόγηση των επιπέδων ρύπανσης από διοξείδιο του θείου και καπνό στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας Δ. Σταματιάδης, Δ. Χατζηδάκης	109
Επίπεδα και διακύμανση ατμοσφαιρικών ρύπων στην πόλη του Ηρακλείου τα έτη 1988-1989 Ε.Ν. Τζανάκης, Μ.Ν. Σιαφάκας	117
Θεσομητημένα όρια ασφαλείας ρύπων στην Ελλάδα: μεθοδολογία και διεθνείς συγκρίσεις Ε.Ν. Τζανάκης, Μ.Ν. Σιαφάκας	122
Βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ολική θνησιμότητα στον πληθυσμό της Αθήνας Κ. Κατσουγιάννη, Α. Χατζάκης, Α. Κаланτίδη, Δ. Τριχόπουλος	126
Ατμοσφαιρική ρύπανση και θνησιμότητα από νοσήματα του αναπνευστικού και καρδιαγγειακού συστήματος Α. Καρακατσάνη, Ι. Μεσάρη, Κ. Κατσουγιάννη, Γ. Τουλούμη, Α. Χατζάκης, Α. Κаланτίδη, Δ. Τριχόπουλος	133
Βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις διακομιδές και εισαγωγές επειγόντων περιστατικών στην Αθήνα και τον Πειραιά Α. Πανατζοπούλου, Τ. Κρεμαστινού, Κ. Κατσουγιάννη	139
Ατμοσφαιρική ρύπανση και καρκίνος του πνεύμονα Κ. Κατσουγιάννη, Α. Κаланτίδη, Π. Τόμος, Δ. Τριχόπουλος	145
Ατμοσφαιρική ρύπανση και αποφρακτική πνευμονοπάθεια: συγκριτική μελέτη στις πόλεις Ελευσίνα και Σπερχειάδα Φθιώτιδας Α. Πολυδώρου, Α. Πολυδώρου	150
Ρύπανση της ατμόσφαιρας στην Αθήνα και χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια Α. Τζώνου, Γ. Μαργακοδάκης, Ι. Δημοπούλου, Ξ. Ζαβιτανός, Τ. Κρεμαστινού, Δ. Τριχόπουλος	154
Δυσμενείς συνέπειες της ρύπανσης της ατμόσφαιρας των Αθηνών σε παιδιά σχολικής ηλικίας Γ. Μαθιουδάκης, Κ. Πρίφτης, Ε. Ευαγγελοπούλου, Χ. Τριανταφυλοπούλου, Ζ. Μπέκα, Ι. Ροτζιώκος, Α. Χαϊδάς, Σ. Τζάννης	159
Μορφολογικά χαρακτηριστικά παιδιών σε σχέση με τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και το βαθμό κινητικότητας Μ. Μαντζαγριώτη - Μειμαρίδη, Ν. Πουρνάρας	163
Βιομηχανική ατμοσφαιρική ρύπανση και ανθρώπινα χρωμοσώματα Α. Κασαντώνη, Σ. Νάκου, Ι. Αντωνιάδου-Κουμάτου, Ζ. Κοτέ	168
Επίπεδα μολύβδου αίματος σε ομάδες πληθυσμού Αθήνας - Πειραιά και οι διαχρονικές διακυμάνσεις Μ. Ζαφειρόπουλος, Ν. Χατζηχριστίδου, Σ. Παπαδοπούλου, Β. Χαρτσαίος, Σ. Νάκου	171
Επιδράσεις του μολύβδου στη νοητική λειτουργία των παιδιών Α. Χατζάκης, Α. Κοκκέβη, Κ. Μαραβέλιας, Κ. Κατσουγιάννη, Ε. Πολυχρονάκη, Φ. Σαλαμίνιος, Α. Κаланτίδη, Α. Κουτσελίνης, Κ. Στεφανής, Δ. Τριχόπουλος	175

ΑΡΧΕΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ
ΙΑΤΡΙΚΗΣ

ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ ΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

archives of hellenic medicine
OFFICIAL JOURNAL OF THE ATHENS MEDICAL SOCIETY

Προσδιορισμός των μετεωρολογικών συνθηκών που ευνοούν την εμφάνιση επεισοδίων ρύπανσης στο λεκανοπέδιο Αθηνών

Δ.Ν. Ασημακόπουλος^{1,4}, Γ. Κάλλος¹,
Γ. Καρράς¹, Δ.Π. Λάλας², Μ.Δ. Λοϊζίδου³

¹ Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τομέας Φυσικών Εφαρμογών,
Εργαστήριο Μετεωρολογίας

² Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ΥΒΕΤ, Κορωπί Αττικής

³ Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο

⁴ Ινστιτούτο Μετεωρολογίας και Φυσικής Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος,
Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Αθήνα

Η εργασία αυτή έχει σκοπό τον προσδιορισμό των μετεωρολογικών συνθηκών που είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία επεισοδίων ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου Αττικής. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα συγκεντρώσεων των διαφόρων ρύπων της χρονικής περιόδου 1983-1987 τα οποία παραχωρήθηκαν από το ΠΕΡΠΑ, οι συνοπτικοί χάρτες καιρού και τα μετεωρολογικά δεδομένα όλων των σταθμών της περιοχής. Με βάση αυτά τα στοιχεία εντοπίστηκαν τα επεισόδια ρύπανσης, όπως αυτά προσδιορίζονται από τα μέχρι σήμερα ισχύοντα όρια. Για τις περιπτώσεις αυτές των επεισοδίων μελετήθηκαν συστηματικά οι συνοπτικές καταστάσεις καιρού που επικρατούσαν. Στη συνέχεια έγινε μια προσπάθεια ομαδοποίησής τους, με βάση τα κοινά χαρακτηριστικά τους (τρόπος δημιουργίας, εξέλιξης και διάλυσής τους). Τέλος, για τις βασικές περιπτώσεις συνοπτικών καταστάσεων έγινε προσπάθεια ανακατασκευής του πεδίου ροής για την ευρύτερη περιοχή του Λεκανοπεδίου Αθηνών.

Αρχεία Ελληνικής Ιατρικής 1990, 7:86-96

Η εργασία αυτή έχει σκοπό τον προσδιορισμό των μετεωρολογικών συνθηκών που είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία επεισοδίων ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή του Λεκανοπεδίου Αθηνών.

1. Ανάλυση χρονοσειρών δεδομένων ρύπανσης

1.1. Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν: Τα δεδομένα συγκεντρώσεων των διαφόρων ρύπων προέρχονται από τους σταθμούς του ΠΕΡΠΑ και μας παραχωρήθηκαν

στη μορφή ωριαίων τιμών. Περιλαμβάνουν τους ρύπους διοξείδιο του θείου (SO₂), διοξείδιο του αζώτου (NO₂), και μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1/7/83 έως 31/12/87. Ακόμη χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες ημερήσιες τιμές καπνού για την ίδια χρονική περίοδο. Οι μετρήσεις των ρύπων SO₂, NO₂ και CO προέρχονται από τους σταθμούς Ακρόπολη, Ασπρόπυργος, Αστεροσκοπείο, Βοτανικός, Γενικό Χημείο του Κράτους, Λιόσια, Μαρούσι, Πατησίων (ΠΕΡΠΑ), Πειραιάς και Νέα Σμύρνη.

Οι μετρήσεις καπνού αναφέρονται μόνο στους σταθμούς Δραπετσώνα, Πατησίων (ΠΕΡΠΑ), Πειραιάς και Υπουργείο Κοινωνικών Υπηρεσιών (Αριστοτέλους). Μια γενική παρατήρηση είναι ότι οι χρονοσειρές των στοιχείων παρουσιάζουν σημαντικές ελλείψεις, με εξαίρεση αυτές για τον καπνό οι οποίες θεωρούνται πλήρεις.

Σε πρώτη φάση, κατά την αρχική επεξεργασία των στοιχείων δεν ελήφθησαν υπόψιν οι μετρήσεις SO₂, NO₂ και CO του Αστεροσκοπείου, γιατί η περίοδος λειτουργίας του σταθμού σύμφωνα με τα στοιχεία που μας παραδόθηκαν, κάλυπτε 61 μόνο ημέρες. Στους πίνακες 1, 2, 3 και 4 που ακολουθούν δίδεται αναλυτικά η περίοδος λειτουργίας του κάθε σταθμού για τους διάφορους ρύπους, ο συνολικός αριθμός των ημερών για τις οποίες δεν υπάρχουν μετρήσεις (απόλυτα και ποσοστιαία), καθώς και το ποσοστό των ημερών, της εξεταζόμενης περιόδου για την οποία για κάθε ρύπο, υπάρχουν μετρήσεις για όλους τους σταθμούς. Τέλος, στον πίνακα 5 παρουσιάζονται οι ακραίες τιμές των αέριων ρύπων που έχουν παρατηρηθεί για κάθε μήνα στο προαναφερόμενο χρονικό διάστημα.

1.2. Επεισόδια ρύπανσης: Ως ημέρες επεισοδίων ρύπανσης θεωρήθηκαν κατ' αρχήν οι ημέρες για τις οποίες η χαρακτηριστική τιμή ενός ρύπου, σε ένα τουλάχιστον σταθμό μέτρησης, υπερβαίνει τα όρια επιφυλακής όπως αυτά ισχύουν σήμερα. Τα όρια αυτά δίδονται στον πίνακα 6.

Για την εξεταζόμενη περίοδο (1/7/83 - 31/12/87) βρέθηκε ότι παρατηρήθηκαν 696 ημέρες επεισοδίων, δηλαδή το 42% του συνολικού αριθμού των ημερών της περιόδου. Ο αριθμός αυτός θα ήταν μεγαλύτερος αν οι χρονοσειρές των μετρήσεων ήταν πλήρεις. Ας σημειωθεί ότι τέτοιες υπερβάσεις μπορεί να παρατηρηθούν πολύ εύ-

Πίνακας 1. Υπάρχουσες μετρήσεις για το SO₂

Σταθμός	Περίοδος λειτουργίας	Ημέρες χωρίς στοιχεία			
		Κατά την περίοδο λειτουργίας		1/7/83 - 31/12/87	
		N	%	N	%
Ασπρόπυργος	1/7/83-3/3/87	373	28	676	41
Βοτανικός	10/1/83-31/12/87	740	49	872	53
Γεν. Χημείο	1/7/83-13/2/85	22	4	1073	65
Λιόσια	1/7/83-31/12/87	271	16	271	16
Μαρούσι	2/2/84-27/8/86	691	74	1398	85
Πατησίων	1/7/83-31/12/87	78	21	78	5
Πειραιάς	1/2/84-31/12/87	330	23	546	33
N. Σμύρνη	1/8/83-31/12/87	369	23	400	2

Αριθμός ημερών με παρατηρήσεις σε όλους τους σταθμούς: 51 ή 3%

κολα και να οφείλονται πολλές φορές, σε καθαρά τοπικά αίτια ή σε ανωμαλία του σταθμού μέτρησης η οποία έχει διαφύγει του ελέγχου. Υπερβάσεις των ορίων κατάστασης παρατηρήθηκαν για 19 μόνο ημέρες, ενώ δεν παρατηρήθηκε υπέρβαση των ορίων κατάστασης έκτακτης ανάγκης. Οι ημέρες υπέρβασης των ορίων κατάστασης περιορισμών παρατηρούνται κυρίως την ψυχρή περίοδο του έτους και μάλιστα 10 ημέρες ανήκουν στο Δεκέμβριο, τρεις στον Οκτώβριο και στο Νοέμβριο και από μια στον Ιανουάριο, Απρίλιο και Αύγουστο. Η κατά μήνα κατα-

νομή των 696 ημερών υπέρβασης των ορίων επιφυλακής παρουσιάζεται στον πίνακα 7.

Εξετάζοντας τις χρονοσειρές των διαφόρων ρύπων χωριστά βρέθηκε ότι οι υπερβάσεις των ορίων επιφυλακής ήταν για το SO₂ 8 ημέρες, για το NO₂ 552 ημέρες, για το CO 247 ημέρες, και για τον καπνό 331 ημέρες. Υπέρβαση του ορίου κατάστασης περιορισμών δεν παρατηρείται για το SO₂, ενώ το όριο αυτό έχει υπερβεί σε ένα τουλάχιστον σταθμό το NO₂ επί 4 ημέρες, το CO επί 8 ημέρες και ο καπνός επί 11 ημέρες.

Στους πίνακες 8, 9 και 10 παρου-

σιάζονται οι κατανομές των συγκεντρώσεων του NO₂, του CO και του καπνού στους διαφόρους σταθμούς κατά τις ημέρες που παρατηρήθηκε υπέρβαση του ορίου επιφυλακής. Όσον αφορά το SO₂ παρατηρείται υπέρβαση του ορίου επιφυλακής επί 7 ημέρες στο σταθμό Πατησίων και μια ημέρα στο σταθμό του Γενικού Χημείου του Κράτους, η τιμή όμως του SO₂ σε επτά περιπτώσεις ήταν μικρότερη των 250 μg/m³ και μόνο σε μια, στο σταθμό Πατησίων, ήταν 264 μg/m³. Η παραπάνω ανάλυση των στοιχείων δεν αποσκοπεί στη λεπτομερή στατιστική επεξεργασία, αλλά μόνο στην ομαδοποίηση των δεδομένων ώστε να γίνει εφικτή η συσχέτισή τους με τις συνοπτικές μετεωρολογικές καταστάσεις.

2. Ταξινόμηση των συνοπτικών καταστάσεων κατά τις ημέρες επεισοδίων ρύπανσης

2.1. Εποχές: Σύμφωνα με τα γενικότερα κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής της βορειοανατολικής Μεσογείου το ημερολογιακό έτος μπορεί να χωριστεί σε τρεις περιόδους: την καλοκαιρινή, τη χειμερινή και τη μεταβατική περίοδο. Στην καλοκαιρινή περίοδο περιλαμβάνονται οι μήνες Ιούνιος - Σεπτέμβριος, στη χειμερινή οι Νοέμβριος - Φεβρουάριος και στη μεταβατική οι Μάρτιος - Μάιος και Οκτώβριος. Μια σύντομη περιγραφή των κυριότερων χαρακτηριστικών κάθε περιόδου δίδεται παρακάτω:

Καλοκαίρι - Κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου τα αποτελέσματα της μουςσωνικής δράσης στη νότια Ασία οδηγούν στην ανάπτυξη ενός "trough" πάνω από την ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου Πελάγους και της Τουρκίας. Κατά το καλοκαίρι, να μεν η ξηρά της Νότιας Ευρώπης είναι αρκετά θερμή, αλλά η ξηρά της βόρειας Αφρικής είναι θερμότερη. Η θάλασσα στο

Πίνακας 2. Υπάρχουσες μετρήσεις για το NO₂

Σταθμός	Περίοδος λειτουργίας	Ημέρες χωρίς στοιχεία			
		Κατά την περίοδο λειτουργίας		1/7/83 - 31/12/87	
		N	%	N	%
Ασπρόπυργος	4/7/83-27/6/87	328	23	519	32
Βοτανικός	4/1/83-31/12/87	371	24	497	30
Γεν. Χημείο	1/7/83-31/12/84	8	1	1103	67
Λιόσια	1/7/83-31/12/84	361	22	132	8
Μαρούσι	7/1/84-6/6/86	676	77	1439	87
Πατησίων	1/7/83-31/12/87	94	6	94	6
Πειραιάς	1/4/84-31/12/87	227	17	501	30
N. Σμύρνη	1/7/83-31/12/87	254	15	254	15

Αριθμός ημερών με παρατηρήσεις σε όλους τους σταθμούς: 93 ή 6%.

Πίνακας 3. Υπάρχουσες μετρήσεις για το CO

Σταθμός	Περίοδος λειτουργίας	Ημέρες χωρίς στοιχεία Κατά την περίοδο λειτουργίας			
		1/7/83 - 31/12/87		1/7/83 - 31/12/87	
		N	%	N	%
Ασπρόπυργος	1/7/83-27/6/87	207	14	394	24
Βοτανικός	1/11/83-31/12/87	295	18	295	18
Γεν. Χημείο	1/7/83-17/10/85	41	5	846	49
Λιόσια	1/7/83-31/12/87	361	22	361	22
Μαρούσι	15/2/84-24/12/86	386	29	740	45
Πατησίων	1/7/83-31/12/87	44	3	44	3
Πειραιάς	11/1/84-31/12/87	595	41	790	48
N. Σμύρνη	1/7/83-31/12/87	459	28	459	25

Αριθμός ημερών με παρατηρήσεις σε όλους τους σταθμούς: 53 ή 3%.

Αιγαίο και γενικότερα στη βορειοανατολική Μεσόγειο είναι ψυχρότερη (20-27°C) από τη γύρω ξηρά. Έτσι ολόκληρη η περιοχή της Μεσογείου συχνά καλύπτεται από υψηλότερες πιέσεις. Οι επικρατούντες άνεμοι στο Αιγαίο είναι από Β ή ΒΔ διευθύνσεις, ξηροί. Το καλοκαίρι είναι η εποχή που εμφανίζονται οι έντονοι βορείων διευθύνσεων άνεμοι που ονομάζονται ετησίες (μελτέμια).

Χειμώνας - Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η ξηρά της Νοτιοανατολικής Ευρώπης είναι αρκετά ψυχρή σε σύγκριση με την επιφάνεια της θάλασσας στη Μεσόγειο (θερμο-

κρασία επιφάνειας της θάλασσας 12-20°C). Στην ανώτερη ατμόσφαιρα επικρατεί ουσιαστικά δυτική κυκλοφορία. Λόγω της γειννίας ψυχρών αερίων μαζών πάνω από την ξηρά στα βόρεια παρατηρούνται συχνά ψυχρές εισβολές. Κατ' αυτό τον τρόπο η κυκλογένεση σε διάφορες περιοχές της κεντρικής και ανατολικής Μεσογείου είναι αρκετά συχνή. Γνωστά κέντρα κυκλωνικής δράσης είναι ο κόλπος της Γένοας, η Αδριατική θάλασσα, το Ιόνιο πέλαγος, ο κόλπος της Σύρτεως, η περιοχή της Κύπρου και το νότιο Αιγαίο, όπως ακόμη και η περιοχή νότια του βουνού Ατλας στη βόρεια Αφρική. Τα βαρομετρικά

Πίνακας 5. Ακραίες τιμές που παρατηρήθηκαν για κάθε ρύπο για κάθε μήνα.

	SO ₂ (μg/m ³)		NO ₂ (μg/m ³)		CO (mg/m ³)		Καπνός (μg/m ³)	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Ιανουάριος	465	6	473	75	23,9	3,3	408	28
Φεβρουάριος	464	6	253	75	24,3	2,7	322	25
Μάρτιος	354	19	253	84	17,3	2,4	392	13
Απρίλιος	319	6	386	56	20,6	3,4	330	28
Μάιος	196	6	376	28	20,4	2,9	238	33
Ιούνιος	227	20	414	28	19,9	2,3	351	15
Ιούλιος	249	13	470	75	13,0	2,1	322	26
Αύγουστος	144	5	508	80	13,7	1,1	268	15
Σεπτέμβριος	273	6	460	75	17,4	2,9	375	33
Οκτώβριος	273	5	451	38	30,9	2,4	394	29
Νοέμβριος	422	13	300	65	24,9	3,1	418	28
Δεκέμβριος	637	13	301	37	32,7	1,9	415	38

Πίνακας 4. Υπάρχουσες μετρήσεις για τον καπνό

Σταθμός	Ημέρες χωρίς στοιχεία για την περίοδο 1/7/83-31/12/87	
	N	%
Δραπετσώνα	195	12
Πατησίων	142	9
Πειραιάς	396	24
Αγ. Ι. Ρέντης	77	5
Υπ. Κοιν. Υπ.	44	3

Αριθμός ημερών με παρατηρήσεις σε όλους τους σταθμούς: 979 ή 60%.

χαμηλά που δημιουργούνται στην περιοχή του Κόλπου της Γένοας κινούνται συνήθως ΝΑ και επηρεάζουν τον καιρό της Ελλάδας, ενώ κατά το τέλος της χειμερινής περιόδου κινούνται ΒΑ. Υφέσεις που δημιουργούνται στη νότια Αδριατική ή το Ιόνιο κινούνται συνήθως ΒΑ πάνω από την Ελλάδα (ιδιαίτερα το Φεβρουάριο και Μάρτιο) και κατά δεύτερο λόγο ΝΑ. Τα χαμηλά της βόρειας Αφρικής κινούνται κυρίως ΒΑ προς τον Ελλαδικό χώρο και κατά δεύτερο λόγο ανατολικά κατά μήκος των ακτών της βόρειας Αφρικής. Οι περιοχές του νοτίου Αιγαίου και της Κύπρου χαρακτηρίζονται κυρίως από την αναγέννηση εξασθενημένων χαμηλών που βρέθηκαν στην περιοχή, σε συνδυασμό με ψυχρή εισβολή κατά μήκος του Αιγαίου.

Μεταβατική περίοδος - Οι μεταβατικές εποχές άνοιξη και φθινόπωρο είναι διαφορετικής διάρκειας. Η ανοιξιάτικη περίοδος είναι συνήθως τρεις μήνες (Μάρτιος-Μάιος) και χαρακτηρίζεται από έντονη δραστηριότητα καταιγίδων (χειμερινού τύπου) που εναλλάσσονται με δραστηριότητα θερινού τύπου (ψευδοετησίες).

Το φθινόπωρο διαρκεί περίπου ένα μήνα (Οκτώβριος) και χαρακτηρίζεται από απότομη μετάβαση από το θερινού τύπου καιρό σ' αυτόν του χειμερινού. Οι ψυχρές εισβολές αρχίζουν με την ψύξη της ξη-

Πίνακας 6. Ορια ρύπανσης, είδος και επίπεδα ρύπων

Ορια	Καπνός	SO ₂	NO ₂	CO
	24ωρη	μg/m ³ ωριαία	μg/m ³	mg/m ³ 8ωρη
Επιτρεπτά-Επιφυλακής	250	200	200	15
Κατάστασης περιορισμών	400	400	500	25
Κατάστασης έκτακτης ανάγκης	600	500	700	35

ράς ενώ παρουσιάζεται αυξημένη κυκλωνική δραστηριότητα καθώς η δυτική κυκλοφορία μετατοπίζεται νοτιότερα πάνω από τη σχετικά θερμή Μεσόγειο.

2.2. Κριτήρια επιλογής επεισοδίων ρύπανσης: Η υπέρβαση απλώς κάποιων προκαθορισμένων ορίων των συγκεντρώσεων ενός ή περισσότερων βασικών αέριων ρύπων

μένες και όχι περιστασιακές περιπτώσεις επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αποφασίστηκε να ακολουθηθούν τα παρακάτω κριτήρια:

- υπέρβαση των υφισταμένων ορίων για τουλάχιστον δύο ώρες
- σε δύο τουλάχιστον σταθμούς
- για δύο συνεχείς ημέρες

Ας σημειωθεί ότι τα παραπάνω κριτήρια έχουν προκύψει από σει-

Πίνακας 8. Κατανομή των συγκεντρώσεων NO₂ στους διάφορους σταθμούς του λεκανοπεδίου

NO ₂ (μg/m ³)	Αριθμός ημερών								
	Από - έως	ΑΣΠ	ΒΟΤ	ΓΧΚ	ΛΙΟ	ΜΑΡ	ΠΑΤ	ΠΕΙ	ΝΣΜ
200-299		18	33	117	1	9	368	164	22
300-399		2	5	27	0	3	61	26	4
400-499		0	1	3	0	0	12	3	2
500-599		0	0	1	0	0	1	1	0

δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως επεισόδιο. Αντίθετα, θα πρέπει να εξετάζεται η γενικότερη συμπεριφορά των μετρήσεων του δικτύου των σταθμών παίρνοντας υπόψη τη διάρκεια των υπερβάσεων σε συνδυασμό με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες. Στη συγκεκριμένη περίπτωση και προκειμένου να καταλήξουμε σε βεβαιω-

ρά μελετών που κατά καιρούς έχουν γίνει και αφορούν το Λεκανοπέδιο Αττικής¹⁻⁹. Με τα παραπάνω κριτήρια επελέγησαν συνολικά περί τα εκατό επεισόδια για τη χρονική περίοδο Ιούλιος 1983 - Δεκέμβριος 1987. Οπωσδήποτε, οι ασυνέχειες που παρουσιάζονται στις χρονοσειρές των διαφόρων βασικών ρύπων δεν αλλοιώνουν ποιοτι-

Πίνακας 9. Κατανομή των συγκεντρώσεων CO στους διάφορους σταθμούς του λεκανοπεδίου

CO ₂ (mg/m ³)	Αριθμός ημερών								
	Από - έως	ΑΣΠ	ΒΟΤ	ΓΧΚ	ΛΙΟ	ΜΑΡ	ΠΑΤ	ΠΕΙ	ΝΣΜ
15 - 19,9		0	0	3	0	0	247	2	0
20 - 24,9		0	0	0	0	0	57	0	4
25 - 29,9		0	0	0	0	0	8	0	2
30 - 34,9		0	0	0	0	0	2	0	0

Πίνακας 7. Η κατά μήνες διανομή των 696 ημερών υπέρβασης των ορίων επιφυλακής

	Ημέρες	Ποσοστό
Ιανουάριος	63	51
Φεβρουάριος	33	29
Μάρτιος	30	24
Απρίλιος	57	48
Μάιος	52	42
Ιούνιος	46	38
Ιούλιος	66	43
Αύγουστος	59	38
Σεπτέμβριος	63	42
Οκτώβριος	66	43
Νοέμβριος	75	50
Δεκέμβριος	86	55

κά τη γενική συνοπτική εικόνα που παρουσιάζεται στη συνέχεια. Θα θέλαμε ακόμη να σημειώσουμε ότι ενδεχόμενη χρήση νέων χαμηλότερων ορίων δεν θα επιφέρει και πάλι καμμία ποιοτική μεταβολή της γενικής εικόνας. Το μόνο που θα αλλάξει είναι ο αριθμός των χαρακτηρισμένων επεισοδίων.

Με βάση τα παραπάνω, επιχειρήθηκε μια ταξινόμηση των διαφόρων συνοπτικών καταστάσεων που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των επεισοδίων ρύπανσης για την προαναφερθείσα χρονική περίοδο. Οι συνοπτικές καταστάσεις των επεισοδίων ρύπανσης που μελετήθηκαν κατατάχτηκαν στις κατηγορίες που αναφέρονται στη συνέχεια.

2.3. Συνοπτικές κατηγορίες: α. Καλοκαιρινή περίοδος - Τις ημέρες επεισοδίων ρύπανσης, κατά την καλοκαιρινή περίοδο (Ιούνιος - Σεπτέμβριος) παρατηρείται αύξηση της πίεσης στην κεντρική Μεσόγειο που εκτείνεται και πάνω από τη Βαλκανική και τη Μαύρη Θάλασσα. Στη κεντρική και δυτική Μεσόγειο καθώς και στη βόρεια Αφρική, στην ανώτερη ατμόσφαιρα, υπάρχει κάποιο "ridge". Το χαμηλό της νοτιοδυτικής Ασίας που εκτείνεται και πάνω από την Τουρκία, μετατοπίζεται ανατολικά με αποτέλεσμα στο Αιγαίο να επικρατεί ασθενής βαροβαθμίδα και κατά συνέπεια ασθενής συνοπτική κυκλοφορία. Μέσης - κλίμακας κυκλοφορίες αναπτύσσονται στις διάφορες πε-

Πίνακας 10. Κατανομή των συγκεντρώσεων του καπνού στους διάφορους σταθμούς του λεκανοπεδίου.

Καπνός (μg/m ³)	Αριθμός ημερών				
	ΔΡΑ	ΠΑΤ	ΠΕΙ	ΡΕΝ	ΥΠΟΥΡ
Από - έως					
250 - 299	1	170	10	2	233
300 - 349	1	74	3	1	134
350 - 399	0	36	0	0	45
400 - 449	0	6	0	0	9
450 - 500	0	0	0	0	2

ριοχές. Στην περιοχή του λεκανοπεδίου Αττικής αναπτύσσεται ο μηχανισμός της θαλάσσιας (απώγειας) αύρας. Η διάρκεια του φαινομένου είναι από 2 έως 5 ημέρες, αλλά μπορεί να διαρκέσει έως και 10 ημέρες, με διακοπή συνήθως μιας

ή δύο ημερών. Η λήξη του επεισοδίου γίνεται μετά από εξασθένηση των υψηλών πιέσεων στη Βαλκανική και την κεντρική Μεσόγειο και την επέκταση του θερμικού χαμηλού που επικρατεί πάνω από την Τουρκία προς τα δυτικά. Με τον

τρόπο αυτό σχηματίζεται βαροβαθμίδα στο Αιγαίο και αρχίζουν οι ετησίες. Πολλές φορές η εξασθένηση των πιέσεων στη Βαλκανική συνοδεύεται και από το πέρασμα μετώπου που κινείται από Β ή ΒΔ προς Ν ή ΝΑ το οποίο για την περίπτωση των Αθηνών τροποποιεί συνήθως το ανεμολογικό πεδίο. Η ένταση του "ridge" της δυτικής Μεσογείου καθορίζει και τη θερμή μεταφορά προς τον Ελλαδικό χώρο και κατά συνέπεια και την άνοδο των θερμοκρασιών στην επιφάνεια. Σε περίπτωση ισχυρής θερμής μεταφοράς παρατηρείται καύσωνας.

β. Μεταβατική περίοδος - Κατά

Πίνακας 11α. Ταχύτητες (m/s) και διευθύνσεις ανέμου για τις 10 - 11 Φεβρουαρίου 1987 (c= άπνοια, x= δεν υπάρχουν μετρήσεις)

Τ. ώρα	Τατόϊ	Ελευσ.	Πειρ.	Σπάτα	Ν. Φιλ.	Ελλην.	Αστερ.
00	x	2,0/340	x	x	x	c	0,8/022
03	c	c	x	x	x	c	0,7/000
06	1,5/330	1,5/360	3,0/007	c	c	c	1,0/180
09	c	c	3,0/200	2,5/200	x	c	1,3/202
12	3,0/170	2,0/180	4,0/200	2,5/200	1,0/225	2,0/230	1,3/247
15	3,0/170	2,0/200	3,5/200	x	x	4,0/200	3,0/202
18	c	c	1,0/230	x	c	c	3,2/202
21	c	c	1,0/200	x	0,5/045	c	0,5/000
00	c	c	x	x	x	c	0,8/045
03	c	c	x	x	1,5/180	3,0/050	0,5/225
06	c	c	2,0/050	c	x	c	0,5/135
09	c	c	4,5/230	10/180	1,0/180	8,0/190	0,8/157
12	5,0/180	2,5/100	7,0/180	10/180	x	7,0/200	4,2/202
15	6,0/180	6,9/180	6,0/200	x	x	8,0/200	6,7/180
18	1,5/210	7,5/180	6,0/200	x	x	7,0/190	4,5/180
21	c	c	4,0/200	x	x	5,0/150	3,6/180

Πίνακας 11β Ταχύτητα (m/s) και διευθύνσεις ανέμου για τις 14-15 Μαΐου 1987 (c= άπνοια x= δεν υπάρχουν μετρήσεις).

Τ. ώρα	Ελλην.	Ψυτάλ.	Αίγινα	Αστερ.	Βαρνάβα	Ν. Φιλ.	Παιονία
00	c	1,0/225	1,0/270	0,7/337	1,5/292	x	1,0/315
03	c	0,5/315	1,0/022	c	2,0/022	x	1,0/292
06	c	0,7/022	2,0/337	1,3/337	1,5/022	c	2,0/157
09	c	2,5/202	2,0/337	3,0/202	2,0/157	x	2,0/157
12	4,0/202	2,0/180	2,0/157	3,0/200	1,5/157	3,0/202	2,0/112
15	5,0/202	3,5/157	2,5/157	3,5/225	1,5/202	x	3,0/112
18	2,0/202	0,7/157	2,0/157	1,5/225	1,0/202	x	3,0/090
21	6,0/202	2,0/145	1,5/180	3,0/247	1,0/202	c	1,0/112
00	c	1,5/067	0,5/247	1,5/022	0,7/247	x	1,6/337
03	c	1,0315	c	c	0,5/247	x	1,0/337
06	c	c	1,0/045	c	1,3/247	0,7/202	1,0/270
09	4,0/202	2,5/180	c	3,0/202	1,0/225	x	1,3/112
12	5,0/180	4,0/157	2,5/157	3,0/202	3,0/225	3,0/225	3,0/135
15	7,0/180	5,0/157	2,5/157	4,5/225	3,0/202	x	3,0/090
18	4,0/180	3,5/157	2,0/157	3,0/202	2,0/202	x	2,0/180
21	c	3,0/157	1,5/270	1,0/202	1,0/225	1,0/270	1,0/202

τη διάρκεια των μεταβατικών εποχών (Μάρτιος - Μάιος, Οκτώβριος), όταν παρατηρούνται επεισόδια ρύπανσης στην Αθήνα, η συνοπτική κατάσταση παρουσιάζει την εξής εικόνα περίπου: Στην επιφάνεια επικρατούν υψηλές πιέσεις στην κεντρική Μεσόγειο που εκτείνονται και πάνω από την Βαλκανική, ενώ στην περιοχή του Αιγαίου επικρατεί ασθενής βαροβαθμίδα. Στην ανώτερη ατμόσφαιρα συνήθως επικρατεί ένα ισχυρό trough πάνω από την Ιθρηκική Χερσόνησο και βορειοδυτική Αφρική, που σε συνδυασμό με κάποιο "ridge" της κεντρικής ή ανατολικής Μεσογείου μεταφέρουν θερμές αέριες μάζες πάνω από τον Ελλαδικό χώρο. Επειδή οι αέριες μάζες κοντά στην επιφάνεια του εδάφους στον Ελλαδικό χώρο είναι ακόμη σχετικά ψυχρές, δημιουργούνται ευσταθείς συνθήκες που σε συνδυασμό με τους ασθενείς ανέμους στο έδαφος, διαμορφώνουν συνθήκες παγίδευσης ρύπων κοντά στο έδαφος. Οι συνθήκες αυτές αλλάζουν με τη μετατόπιση του trough της δυτικής Μεσογείου και το πέρασμα κάποιου χαμηλού πάνω από την Ελλάδα ή ακόμη και κάποιου μετώπου που κινείται συνήθως από Δ ή ΒΔ προς τα Α ή ΒΑ.

Για ένα σημαντικό αριθμό επεισοδίων κατά τη μεταβατική περίοδο οι συνοπτικές συνθήκες διαφέρουν σημαντικά, κυρίως στην ανώτερη ατμόσφαιρα και προσεγγίζουν περισσότερο αυτές που επικρατούν κατά τη θερινή περίοδο.

γ. Χειμερινή περίοδος - Η εμφάνιση υψηλών πιέσεων στην επιφάνεια πάνω από την κεντρική Μεσόγειο που πολλές φορές εκτείνονται και δυτικότερα ή ανατολικότερα και καλύπτουν σχεδόν όλη τη Μεσόγειο, με ασθενή βαροβαθμίδα πάνω από τον Ελλαδικό χώρο, είναι το κύριο χαρακτηριστικό των ημερών με αυξημένη ρύπανση στην Αθήνα κατά την περίοδο αυτή. Κατά τις ημέρες αυτές επικρατεί

έντονη ηλιοφάνεια και τη νύχτα παρατηρούνται ισχυρές αναστροφές θερμοκρασίας κοντά στο έδαφος. Στην ανώτερη ατμόσφαιρα είναι χαρακτηριστική η ύπαρξη "ridge" πάνω από την κεντρική Μεσόγειο που συναντάται στις περισσότερες περιπτώσεις.

Ο τρόπος δημιουργίας των υψηλών πιέσεων κατά τη χειμερινή περίοδο ποικίλλει. Για το λόγο αυτό χωρίζονται στις παρακάτω υποκατηγορίες:

α. Μετά το πέρασμα ενός χαμηλού ή μετώπου που κινήθηκε κυρίως από ΒΔ προς ΝΑ ή ενός εκτεταμένου μετώπου από Β προς Ν παρατηρείται συσσώρευση ψυχρών αερίων μαζών στην περιοχή της Μεσογείου. Η εμφάνιση κάποιου "ridge" στην Κεντρική Μεσόγειο βοηθάει στη δημιουργία ευστάθειας στην ατμόσφαιρα.

β. Εμφάνιση υψηλών πιέσεων στην κεντρική Μεσόγειο με την ύπαρξη ασθενούς βαροβαθμίδας πάνω από τον Ελλαδικό χώρο. Η ύπαρξη trough στη δυτική Μεσόγειο και τη βόρεια Αφρική βοηθάει στην μεταφορά θερμών αερίων μαζών προς τη νοτιοανατολική Ευρώπη. Ο συνδυασμός των ψυχρών αερίων μαζών κοντά στο έδαφος με τις θερμότερες αέριες μάζες στα ανώτερα στρώματα δημιουργούν καταστάσεις ευστάθειας. Η έλευση κάποιου μετώπου ή χαμηλού από Δ ή ΒΔ εξασθενεί το πεδίο των υψηλών πιέσεων πάνω από τον Ελλαδικό χώρο και πολλές φορές σηματοδοτεί την έναρξη ψυχρής εισβολής στην περιοχή. Αυτός ο τύπος καιρού εμφανίζεται κυρίως κατά τους δύο τελευταίους μήνες της χειμερινής περιόδου και διαρκεί από δύο έως πέντε ημέρες.

γ. Μια τρίτη περίπτωση εμφάνισης επεισοδίων ρύπανσης στην Αθήνα κατά το χειμώνα είναι αυτή που κάποιο χαμηλό ή μέτωπο στην κεντρική Μεσόγειο κινείται αργά προς τον Ελλαδικό χώρο ή λίγο νοτιότερα. Όταν η βαροβαθμίδα δεν είναι αρκετά ισχυρή στον Ελλαδικό

χώρο επικρατούν θερμές αέριες μάζες κυρίως στην ανώτερη ατμόσφαιρα και βοηθούν στην ανάπτυξη ενός ευσταθούς στρώματος. Επεισόδια ρύπανσης που οφείλονται σ' αυτού του είδους τη συνοπτική κατάσταση σπάνια διαρκούν πάνω από δύο ημέρες.

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα συνοπτικών καταστάσεων που επικρατούν κατά τη διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης, μπορεί κανείς να καταλήξει στα παρακάτω κοινά χαρακτηριστικά:

α. Υπαρξη ασθενούς βαροβαθμίδας πάνω από την περιοχή της ΒΑ Μεσογείου.

β. Σχετικά υψηλές πιέσεις στη κεντρική Μεσόγειο, οι οποίες μπορεί να εκτείνονται πάνω από όλη τη Μεσόγειο ή και μέχρι τη Μαύρη Θάλασσα.

γ. Αποδιοργάνωση της γενικής κυκλοφορίας.

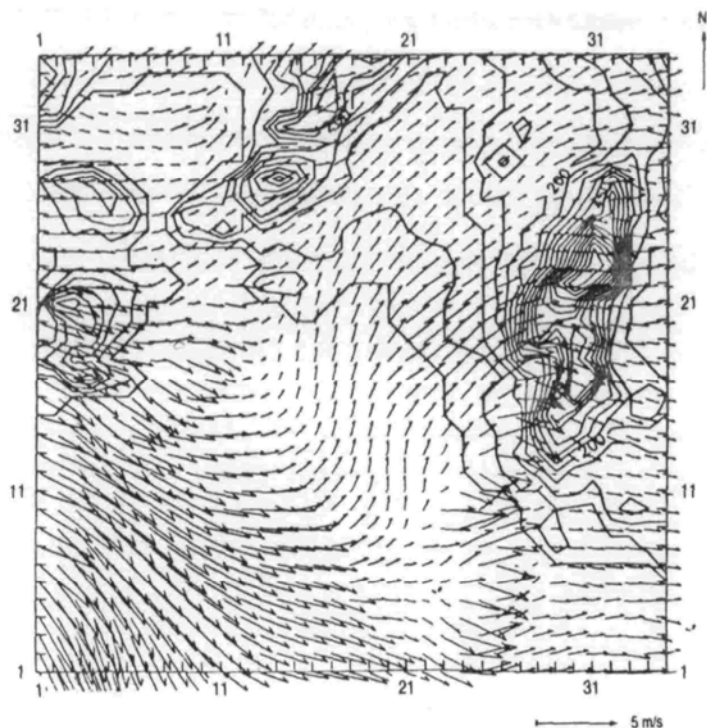
Η λήξη των επεισοδίων ρύπανσης συνήθως συνοδεύεται από τις εξής συνοπτικές μεταβολές:

α. Για μεν το καλοκαίρι με την μετατόπιση του θερμικού χαμηλού που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή της Τουρκίας και του Ιράκ προς τα Δυτικά σχηματίζοντας έτσι βαροβαθμίδα στο Αιγαίο. Η περίπτωση αυτή είναι και η συνηθέστερη.

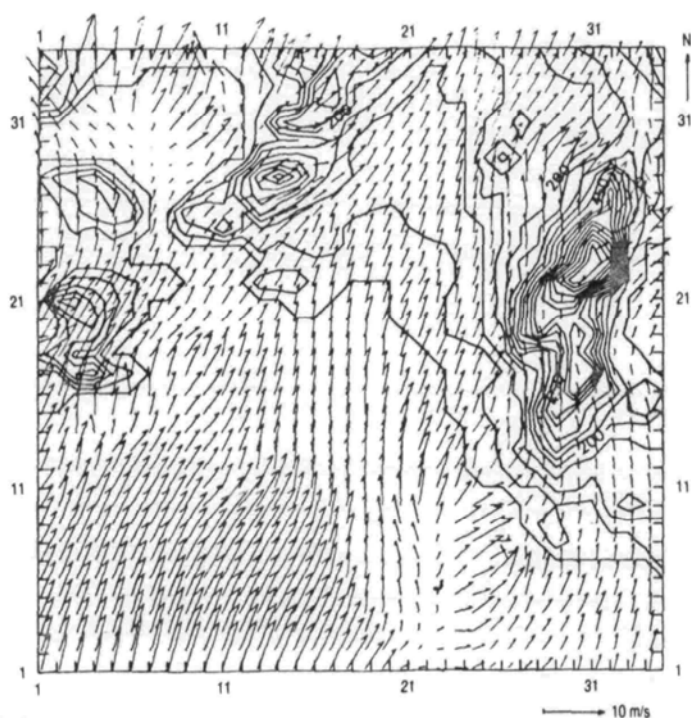
β. Για τη μεταβατική και χειμερινή περίοδο η εξασθένηση των υψηλών πιέσεων στη κεντρική Μεσόγειο και η αλλαγή της κυκλοφορίας στην ανώτερη ατμόσφαιρα, η οποία γίνεται περισσότερο ΒΔ, σηματοδοτεί τη λήξη του επεισοδίου. Η αλλαγή αυτή οφείλεται συνήθως στο πέρασμα κάποιου χαμηλού ή μετώπου που για μεν τους φθινοπωρινούς και πρώτους χειμερινούς μήνες κινείται προς τα Α ή ΝΑ, για δε τους υπόλοιπους χειμερινούς και ανοιξιάτικους μήνες προς τα ΒΑ.

3. Ανακατασκευή των πεδίων ροής για τις βασικές συνοπτικές καταστάσεις

Ένα από τα βασικά στοιχεία μιας



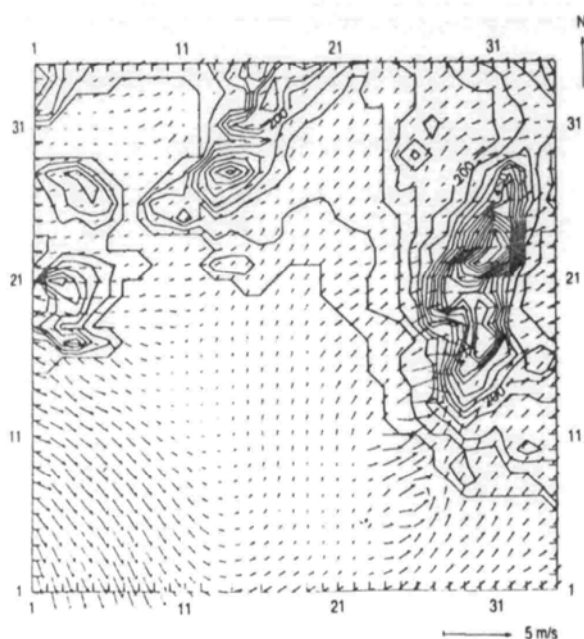
Σχήμα 1α. Το ανεμολογικό πεδίο στο λεκανοπέδιο Αττικής στις 08.00 τοπική ώρα της 14/5/85.



Σχήμα 1β. Το ανεμολογικό πεδίο στο λεκανοπέδιο Αττικής στις 14.00 τοπική ώρα της 14/5/85.

μελέτης βελτίωσης της ποιότητας του αέρα σε μια περιοχή είναι η ανάλυση του πεδίου ροής. Η ροή είναι καθοριστική για τα επίπεδα των συγκεντρώσεων ρύπων, μια που η ένταση του ανέμου επιδρά άμεσα και έντονα στη διάχυση ενώ η διεύθυνση στη μεταφορά και τη συσσώρευση. Στο λεκανοπέδιο Αττικής η εκτίμηση του πεδίου ταχύτητας του ανέμου γίνεται προβληματική από την παρουσία έντονου αναγλύφου που περιλαμβάνει τα βουνά Αιγάλεω, Πάρνηθα, Πεντέλη και Υμηττό, τα οποία αποτελούν φράγματα στην οριζόντια κίνηση, αλλά συγχρόνως δημιουργούν περάσματα που καθοδηγούν τη μεταφορά. Επιπλέον, η παρουσία της θάλασσας και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργούν κυκλοφορίες αύρας θαλάσσιας και απόγειας, αλλά και εσωτερικό οριακό στρώμα, οι επιπτώσεις των οποίων στην κατανομή και εξέλιξη των συγκεντρώσεων των ρύπων είναι σημαντικές και γνωστές. Συνεπώς, για την κατανόηση των μηχανισμών διάχυσης και μεταφοράς που υπεισέρχονται στην εκτίμηση αποδοτικότητας διάφορων τακτικών αντιρύπανσης του λεκανοπεδίου, πρέπει να εξεταστούν τα πεδία ταχύτητας του ανέμου κατά τη διάρκεια επεισοδίων ρύπανσης.

Επιλέχθηκαν δυο ημέρες με μεγάλες συγκεντρώσεις ρύπων, μια κατά τη χειμερινή περίοδο (10-11 Φεβρουαρίου 1987) και μια καλοκαιρινή (14-15 Μαΐου 1985). Για τις ημέρες αυτές υπάρχουν μετρήσεις ανέμου σε διάφορα σημεία του λεκανοπεδίου, που συνοψίζονται στους πίνακες 11α και 11β. Με βάση τις μετρήσεις αυτές υπολογίστηκε το πεδίο ταχυτήτων για διάφορες ώρες του 24ωρου. Οι ώρες αυτές που έγιναν οι υπολογισμοί θεωρούνται αντιπροσωπευτικές των διάφορων τύπων ροής κατά τη διάρκεια της ημέρας, ήτοι βραδυνή ροή, μεταβατική πρωινή ροή, ροή με πλήρως ανεπτυγμένη αύρα και μεταβατική εσπερινή ροή. Ο υπο-



Σχήμα 1γ. Το ανεμολογικό πεδίο στο λεκανοπέδιο Αττικής στις 02.00 τοπική ώρα της 15/5/85.

λογισμός έγινε με κώδικα βασισμένο στην αρχή της διατήρησης της μάζας¹⁰. Το πλέγμα του κώδικα καλύπτει μια επιφάνεια 35x35 km που περικλείει την περιοχή από δυτικά της Ελευσίνιας μέχρι τη Ραφήνα ανατολικά και από το θόρειο τμήμα της Αίγινας μέχρι το Καπανδρίτι προς βορρά. Ο κώδικας κάνει χρήση όλων των ανεμολογικών μετρήσεων στο έδαφος καθώς και των πρώτων τιμών των ραδιοβολήσεων από το Ελληνικό. Η υπολογισθείσα ροή αποτελεί μέση τιμή της ταχύτητας και διεύθυνσης σε ένα επιφανειακό στρώμα αέρα πάχους 50μ και στηρίζεται στις στιγμιαίες μετρήσεις του ανέμου, δηλαδή ο προαναφερθείς κώδικας είναι διαγνωστικός και όχι προγνωστικός.

Στα σχήματα 1α, β, γ παρουσιάζονται ενδεικτικά τα πεδία ροής για τις 08.00 και 14.00 τοπική ώρα της 14 Μαΐου 1985 και τις 02.00 τοπική ώρα της επόμενης ημέρας. Το πρωί της 14 Μαΐου στις 08.00 η ροή ήταν δυτική, βασικά, αλλά λόγω του Υμηττού και της αναστροφής θερμοκρασίας έστρεψε θόρεια και περνούσε στο άνοιγμα του Σταυ-

ρού ή παρέκαμπτε τον Υμηττό νότια. Η ροή ήταν ισχυρότερη στο νότιο μέρος και ειδικά στη θάλασσα που δεν δημιουργούσε εμπόδια. Μετά τις 09.00 τοπική ώρα άρχισε να ενισχύεται η θαλάσσια αύρα και η κατακόρυφη μεταφορά με αποτέλεσμα η ροή να στραφεί πλήρως προς τα θόρεια ή βορειοανατολικά στο λεκανοπέδιο με έξοδο πλέον το άνοιγμα Πάρνηθας - Πεντέλης. Στο σχήμα 1β (προσοχή στην αλλαγή της κλίμακας ταχύτητας στο σχήμα αυτό) παρουσιάζεται ενδεικτικά η ροή που υπολογίστηκε στις 14.00 τοπική ώρα. Αυτού του είδους η ροή διήρκεσε μέχρι δύο περίπου ώρες μετά τα μεσάνυκτα (βλέπε σχήμα 1γ). Κατόπιν η ροή επανέρχεται στη δυτική διεύθυνση, παρόμοια με την αντίστοιχη (Σχ. 1α) της προηγούμενης ημέρας, με μόνη διαφορά την ένταση που είναι μικρότερη.

Η ροή είναι διαφορετική την 10-11 Φεβρουαρίου 1987 (Σχ. 2α, β). Τη νύχτα της 10 Φεβρουαρίου η ροή είναι θόρεια, ασθενής και βασικά "αδειάζει" τους ρύπους από το λεκανοπέδιο προς τη θάλασσα. Λίγο-

πριν από τις 09.00 όπως δημιουργείται μια ισχυρή αύρα με αποτέλεσμα αντιστροφή της ροής (Σχ. 2α) και βέβαια επαναφορά των ρύπων από τη θάλασσα. Η αύρα ενισχύεται στην περίπτωση αυτή από ένα συνοπτικό νότιο ρεύμα και φτάνει σε μεγάλη ένταση (6,5 m/sec) στην Αίγινα το μεσημέρι. Μετά τη δύση του ηλίου η αύρα αρχίζει να εξασθενεί και μετατρέπεται σε αδύνατη ροή θόρειων διευθύνσεων αλλά με σημαντικά ανατολική συνιστώσα ειδικά στη θάλασσα που δεν εμποδίζεται η ροή από τον Υμηττό (Σχ. 2β).

Από τα αποτελέσματα αυτά είναι φανερό ότι η μεταφορά των ρύπων είναι ουσιώδες στοιχείο που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη σε κάθε θεώρηση πολιτικής αντιρύπανσης που περιλαμβάνει μέτρα τοπικής ισχύος.

4. Γενικά συμπεράσματα - προτάσεις

Είναι γεγονός ότι οι χρονοσειρές όλων των αέριων ρύπων παρουσιάζουν σοβαρές ελλείψεις που οπωσδήποτε θα επηρέαζε μια αναλυτική στατιστική επεξεργασία αλλά ευτυχώς όχι τόσο πολύ μια συνοπτική ανάλυση των μετεωρολογικών συνθηκών όπως αυτή παρουσιάστηκε παραπάνω. Στο γεγονός αυτό βοήθησε ότι οι ελλείψεις δεν συγκεντρώνονται σε μια συγκεκριμένη εποχή του έτους για όλους τους σταθμούς. Θα πρέπει ακόμη να επισημανθεί ότι η διακοπή των μετρήσεων του δικτύου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών οπωσδήποτε σταμάτησε την εξέλιξη των 17χρονων χρονοσειρών μετρήσεων καπνού που θα υπήρχε μέχρι σήμερα, έστω και αν υπάρχουν κάποιες αμφιβολίες ως προς την αξιοπιστία της μεθόδου. Ιδανικά θα έπρεπε το νέο και το παλιό δίκτυο να λειτουργούσαν παράλληλα για ένα ικανοποιητικό χρονικό διάστημα και μετά να σταματούσε η λειτουργία του δευτέρου.

Από τη λεπτομερειακή εξέταση τόσο των συγκεντρώσεων όσο και των μετεωρολογικών συνθηκών, που επικρατούσαν κατά τις ημέρες που χαρακτηρίστηκαν ως ημέρες επεισοδίων, καταλήξαμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

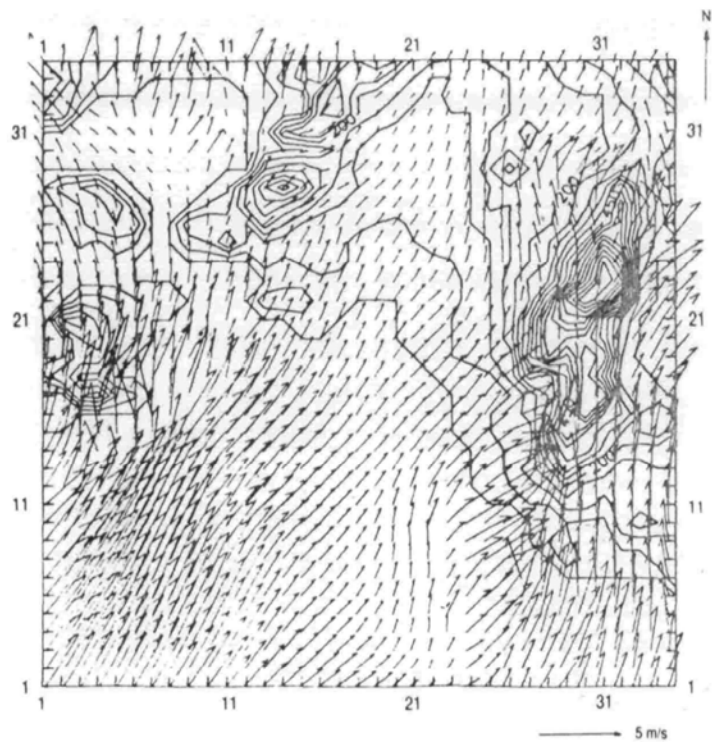
1. Ορισμένοι σταθμοί του ΠΕΡΠΑ ξεχωρίζουν από τους υπόλοιπους λόγω των ακραίων τιμών συγκεντρώσεων που παρουσιάζουν (π.χ., Πατησίων). Το στοιχείο αυτό είναι καθοριστικό για το χαρακτηρισμό των επεισοδίων. Πιθανώς μερικοί από τους σταθμούς αυτούς να επηρεάζονται σημαντικά από καθαρά τοπικά αίτια και να μην είναι σε θέση να δώσουν μια αντιπροσωπευτική εικόνα μιας ευρύτερης περιοχής.

2. Η έλλειψη μετεωρολογικών δεδομένων στις θέσεις των σταθμών του ΠΕΡΠΑ δημιουργεί σημαντικές δυσχέρειες στη μελέτη της συμπεριφοράς των χρονοσειρών των διαφόρων ρύπων. Το πρόβλημα αυτό εντείνεται από το γεγονός της απουσίας πληροφοριών σχετικά με τη μεταφορά, τη διασπορά και τη διάχυση.

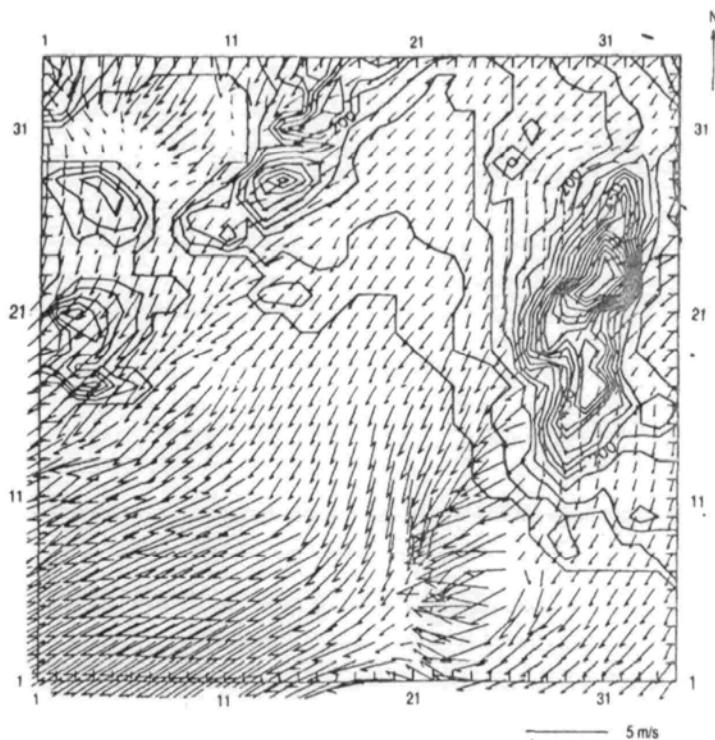
3. Συσχετίζοντας τις συγκεντρώσεις των διαφόρων ρύπων με τα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης που εντοπίστηκαν σύμφωνα με τα κριτήρια που αναφέρθηκαν, σε συνδυασμό με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν, καταλήξαμε στα παρακάτω συμπεράσματα:

Οι συνοπτικές συνθήκες σε συνδυασμό με άλλα χαρακτηριστικά του Λεκανοπεδίου Αττικής (όπως το έντονο ανάγλυφο) είναι αυτές που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία επεισοδίων ρύπανσης. Ενδεχόμενες αλλαγές των ορίων δεν επιφέρουν ουσιαστικά καμμία ποιοτική διαφοροποίηση του τύπου των συνοπτικών συνθηκών.

Από τις χρονοσειρές των ρύπων της τελευταίας πενταετίας διαπιστώθηκε σχετική μείωση του αριθμού των επεισοδίων για τα δύο τελευταία χρόνια (1986-87). Στα πλαί-



Σχήμα 2α. Το ανεμολογικό πεδίο στο λεκανοπέδιο Αττικής στις 09.00 τοπική ώρα της 10/2/87.



Σχήμα 2β. Το ανεμολογικό πεδίο στο λεκανοπέδιο Αττικής στις 03.00 τοπική ώρα της 11/2/87.

σια αυτής της μελέτης δεν ήταν δυνατόν να αποδοθεί η μείωση αυτή στην απουσία μετεωρολογικών συνθηκών που ευνοούν τη δημιουργία επεισοδίων ή σε μέτρα αντιρύπανσης που πάρθηκαν. Εντούτοις, μπορεί να αναφερθεί το γεγονός ότι τα επεισόδια των δύο αυτών ετών συνδυάστηκαν και πάλι με τις ίδιες μετεωρολογικές συνθήκες που επεκράτησαν και στις περιπτώσεις επεισοδίων των προηγούμενων τριών χρόνων.

4. Τα γενικά χαρακτηριστικά του καιρού που επικρατεί κατά τις ημέρες των επεισοδίων ρύπανσης μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

Παρουσίαση υψηλών πιέσεων στην κεντρική Μεσόγειο που μπορούν να εκτείνονται πάνω από τη Βαλκανική ή ακόμη να καλύπτουν όλη την περιοχή της Μεσογείου.

Υπαρξη ασθενούς βαροβαθμίδας πάνω από τη ΒΑ Μεσόγειο που σημαίνει ασθενής συνοπτική κυκλοφορία.

Μεταφορά θερμών αερίων μαζών από τη βόρεια Αφρική προς τον Ελλαδικό χώρο που παρατηρείται κυρίως τις μεταβατικές περιόδους ευνοούν καταστάσεις ευστάθειας.

Οι συνθήκες αυτές συνοδεύονται από καθαρό ουρανό που αφ' ενός μεν επιτρέπει την παρουσία έντονης ηλιακής ακτινοβολίας, που είναι καθοριστικός παράγοντας για τη δημιουργία φωτοχημικών αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα και αφ' ετέρου τη δημιουργία θερμοκρασιακών αναστροφών λόγω ακτινοβολίας. Κάτω από αυτές τις συνθήκες η διασπορά και διάχυση των αέριων ρύπων είναι πολύ κακή. Λόγω της ασθενούς συνοπτικής κυκλοφορίας επιτρέπεται η ανάπτυξη τοπικών συστημάτων κυκλοφορίας, όπως οι θαλάσσιες απόγειες) αύρες που αναπτύσσονται κυρίως τη θερμή περίοδο του έτους. Τα τοπικά συστήματα κυκλοφορίας πολλές φορές επανακυκλοφορούν το ρυπασμένο αέρα της πόλης, που μάλιστα είναι εμπλουτισμένος και από ρύπους

του Θριάσιου Πεδίου³.

Από την εμπειρία που αποκτήθηκε τόσο από την παρούσα μελέτη όσο και από τις παρεμφερείς μελέτες που κατά καιρούς έχουν εκπονηθεί, μπορούμε να καταλήξουμε στις ακόλουθες προτάσεις:

1. Πριν επεκταθεί το υπάρχον δίκτυο μετρήσεων του ΠΕΡΠΑ θα πρέπει να μελετηθεί τόσο ο απαιτούμενος αριθμός σταθμών όσο και η θέση τους στο λεκανοπέδιο. Οι σταθμοί αυτοί θα πρέπει να εξοπλιστούν με βασικά μετεωρολογικά όργανα καθώς επίσης και με μετρήσεις και άλλων βασικών ρύπων, όπως οι υδρογονάνθρακες (methane and non-methane hydrocarbons). Οι νέες αυτές μετρήσεις είναι απαραίτητες για τη μελλοντική λεπτομερειακή μελέτη τόσο του φαινομένου της φωτοχημικής ρύπανσης, όσο και της διασποράς και διάχυσης των αέριων ρύπων γενικά. Για την περίπτωση του φωτοχημικού νέφους θα ήταν χρήσιμο να δοκιμαστούν φωτοχημικοί μηχανισμοί που μπορεί να ισχύουν για την περίπτωση των Αθηνών.

2. Η μέχρι σήμερα λειτουργία των υπαρχόντων σταθμών του ΠΕΡΠΑ δεν ήταν ικανοποιητική από πλευράς συνέχειας των χρονοσειρών και θα πρέπει να καταβληθεί προσετη προσπάθεια ώστε να υπάρξει μια πληρέστερη βάση δεδομένων στο μέλλον.

3. Τα δύο τελευταία χρόνια (1986-87) που παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του αριθμού των επεισοδίων, θα πρέπει να μελετηθούν συστηματικά προκειμένου να διαπιστωθεί το αίτιο που προκάλεσε τη μείωση αυτή.

4. Χωρίς να παραβλέπεται η χρησιμότητα των σωστών μετρήσεων τόσο των συγκεντρώσεων των διαφόρων ρύπων όσο και των μετεωρολογικών παραμέτρων που παίζουν εξίσου σημαντικό ρόλο, θα θέλαμε να τονίσουμε ότι εκείνο που πραγματικά θα πρέπει να ενδιαφέρει τους υπεύθυνους χάραξης της όποιας περιβαλλοντικής

πολιτικής για το Λεκανοπέδιο Αττικής και κατ' επέκταση και όποιας άλλης περιοχής με περιβαλλοντικά προβλήματα, είναι ο μηχανισμός δημιουργίας και εξέλιξης του αποκαλούμενου "νέφους" είτε αυτό είναι φωτοχημικό, είτε οφείλεται σε αδρανείς ρύπους. Ο μηχανισμός αυτός συνεπώς, θα πρέπει να είναι το κύριο αντικείμενο της οποιαδήποτε μελέτης και όχι να περιορίζεται στη μελέτη κάποιων οριακών τιμών που πολλές φορές παρουσιάζουν μια τοπική και μόνο εικόνα. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να αναληφθεί μια γενικότερη προσπάθεια να μελετηθεί ο όλος μηχανισμός δημιουργίας και εξέλιξης του φωτοχημικού νέφους και της κυκλοφορίας των αέριων ρύπων στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου.

Στα πλαίσια μιας τέτοιας προσπάθειας θα πρέπει να γίνουν προσομοιώσεις της μέσης κλίμακας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για την ευρύτερη περιοχή της Αττικής και του Σαρωνικού με προγνωστικά αριθμητικά μοντέλα που να περιλαμβάνουν όσο το δυνατόν περισσότερες παραμέτρους που διαμορφώνουν την κυκλοφορία στην περιοχή (π.χ. τοπογραφία, θέρμανση εδάφους, θερμοκρασία θάλασσας, στρωμάτωση της ατμόσφαιρας, τραχύτητα εδάφους κλπ.). Εν συνεχεία θα πρέπει να γίνει προσομοίωση της διασποράς και διάχυσης των ρύπων στην ευρύτερη περιοχή, αφού προηγουμένως έχουν καταγραφεί οι σημαντικότερες πηγές εκπομπής ρύπων, και τέλος να γίνει προσπάθεια προσομοίωσης του φωτοχημικού μηχανισμού που λαβαίνει χώρα στην περιοχή του λεκανοπεδίου με τη βοήθεια και των προαναφερθέντων αριθμητικών μοντέλων.

Τέτοιου είδους ολοκληρωμένες μελέτες έχουν γίνει σε διάφορες μεγαλουπόλεις που αντιμετωπίζουν παρόμοια προβλήματα ρύπανσης (π.χ. Los Angeles, Vancouver, Tel Aviv κλπ.) και έχουν επίσης προταθεί για την Αθήνα από τον

Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO)⁹. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί η προσπάθεια που έχει αρχίσει προς αυτή την κατεύθυνση από το Εργαστήριο Μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών³, όπου σε πρώτη φάση έχει γίνει η προσομοίωση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για 24 ώρες όταν επικρατεί θαλάσσια αύρα και που τώρα συνεχίζεται με τη μελέτη της διασποράς και διάχυσης των αέριων ρύπων.

5. Τα διάφορα μέτρα που λαμβάνονται κατά την εμφάνιση των επεισοδίων ρύπανσης θεωρείται ότι λαμβάνονται πολύ αργά γιατί στηρίζονται στις μετρήσεις του δικτύου των σταθμών του ΠΕΡΠΑ και όχι στη σωστή πρόγνωση των μετεωρολογικών συνθηκών πριν από την εμφάνιση αυξημένων συγκεντρώσεων στις διάφορες περιοχές.

6. Η λήψη οποιωνδήποτε μέτρων περιορισμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο λεκανοπέδιο Αττικής (επέκταση του δακτυλίου κλπ.) χωρίς να ληφθούν υπόψη όλοι αυτοί οι παράγοντες που προαναφέρθηκαν και χωρίς να προχωρήσει η σε βάθος μελέτη του μηχανισμού διασποράς των αέριων ρύπων, θεωρείται ότι θα είναι αμφίβολης αποτελεσματικότητας και τα μέτρα όχι τα πλέον οικονομικά.

Ευχαριστίες: Η παρούσα μελέτη υποστηρίχθηκε οικονομικά από το ΠΕΡΠΑ/ΥΠΕΧΩΔΕ και το Πανεπιστήμιο Αθηνών.

D.N. Asimakopoulos, G. Kallos, G. Karras, D.P. Lalas, M.D. Loizidou: *Meteorological conditions favouring the development of episodes of atmospheric pollution in the Athens basin. Arch. Hellen. Med. 7:86-96, 1990*

Summary: *This is a study to determine which meteorological conditions favour the development of episodes of atmospheric pollution in the Greater Athens area. The episodes of increased pollution were identified from the data collected by the PERPA network for the period 1983-87. The meteorological data were derived from the weather maps and from the meteorological records of all ground based stations for the same period, and an attempt was made to formulate the common characteristics of the pollution episodes (mode of development, course and dispersion).*

Βιβλιογραφία

1. *Asimakopoulos D.N.:* Final report on tidal air motions in the Athens basin. Final report prepared for EEC/DGXI and Greek Ministry of the Environment (ΥΧΟΠ/ΠΕΡΠΑ), pp 142, 1985.
2. *Helmis C.G., Asimakopoulos D.N., Deligiorgi D.G. Lalas D.P.:* Observations of sea - breeze fronts near the shoreline. *Boundary - Layer Meteorol.*, 38: 395-410, 1987.
3. *Κάλλος Γ.:* Προσομοίωση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας πάνω από

την Αττική με ένα τριδιάστατο μέσης - κλίμακας ατμοσφαιρικό μοντέλο. Περίπτωση θαλάσσιας Αύρας. Τελική έκθεση που ετοιμάστηκε για τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας σελ. 159, 1987.

4. *Karras G.:* Models to predict meteorological conditions conducive to air pollution episodes: Phase II. Final report prepared for EEC/DGXI and the Ministry of Physical Planning, Housing and the Environment/PERPA, 1985.
5. *Lalas D.P., Veirs V., Karras G., Kallos G.:* An analysis of the SO₂ concentration levels in Athens, Greece. *Atmos. Environment* 16: 531-544, 1982.
6. *Lalas D.P.:* Analysis of the tidal air movements in Athens. Technical report prepared for the Ministry of Physical Planning - Housing and the Environment and EEC DGXI, pp. 49, 1983.
7. *Lalas D.P., Asimakopoulos D., Deligiorgi D., Helmis C.:* Sea breeze circulation and photochemical pollution in Athens, Greece. *Atmos. Environment* 17:1621-1632, 1983.
8. *Λάλας Δ.Π.:* Ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα. Μελέτη συνθηκών, παραμέτρων και μηχανισμών. Υπουργείο Έρευνας και Τεχνολογίας, Τελική Έκθεση Σύμβασης 81080. σελ. 189, 1985.
9. *Schere K.L.:* Air quality dispersion modelling in the greater Athens area: current status and future needs. Report prepared for PERPA and World Health Organization, pp. 38, 1985.
10. *Sherman G.A.:* A mass-consistent model for wind fields over complex terrain. *J. Appl. Meteorol.* 17: 312-319, 1978