

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΕΠΙ
ΤΩΝ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΤΗΣ ΨΥΚΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ
ΚΑΙ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΔΥΣΦΟΡΙΑΣ**

από τους

ΧΡΗΣΤΟ ΜΠΑΛΑΦΟΥΤΗ και ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ ΜΑΧΑΙΡΑ
Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κλίμα της πόλεως αποτελεί το σημαντικότερο παράδειγμα της μεταβολής του κλίματος από καθαρά ανθρωπογενείς αιτίες. Η επίδραση αυτή γίνεται φανερή με την ανάλυση και συσχέτιση των μετεωρολογικών παραμέτρων της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα, καθώς και της ταχύτητας του ανέμου, με ορισμένους βιομετεωρολογικούς δείκτες σε σχέση με το ρυθμό ανάπτυξης της πόλης. Στην παρούσα εργασία, για τους παραπάνω σκοπούς, χρησιμοποιούνται ο Δείκτης Δυσφορίας (Discomfort Index) του Thom (1948) και ο Δείκτης Ψυκτικής Ικανότητας του αέρα (Wind-Chill) τον οποίο εισήγαγαν για πρώτη φορά οι Siple και Passel (1946) και που έχει τύχει ευρύτατης αποδοχής.

Η μείζων Θεσσαλονίκη είναι η δεύτερη πόλη της Ελλάδος με μια έντονη και συνεχή ανάπτυξη του πληθυσμού και της δόμησης από το 1950 και μετά. Η μεταβολή του πληθυσμού κατά την περίοδο 1951 - 1981 δίνεται στον Πίνακα 1.

Η μεταβολή των μεγεθών του πίνακα 1 δείχνει ότι η αύξηση του πληθυσμού, κατά τις τρεις δεκαετίες του 50, 60

**INFLUENCE OF THE URBANIZATION OF THE CITY OF THESSALONIKI
ON THE DISCOMFORT AND WIND-CHILL BIOMETEOROLOGICAL INDEXES**

by

CHRISTOS BALAFOUTIS and PANAGIOTI MAHERASS

Department of Meteorology and Climatology

Aristotelian University of Thessaloniki

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

και 70, υπήρξε αλματώδης με χαρακτηριστικότερη την περίοδο 61-71 όπου ο πληθυσμός σχεδόν διπλασιάστηκε (48,7%). Παράλληλη υπήρξε και η οικοδομική ανάπτυξη η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλη πυκνότητα δόμησης με ταυτόχρονη αύξηση του ύψους των οικοδομών. Αποτέλεσμα της μεταβολής αυτής είναι η αύξηση της τραχύτητας με συνέπεια τη μείωση της ταχύτητας της ροής του αέρα. Η νέα πόλη που αναπτύχθηκε συνετέλεσε στη διαμόρφωση τοπικών βιοκλιματικών συνθηκών οι οποίες θα μελετηθούν για την περίοδο 1948-1981.

Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκαν οι ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα, της ταχύτητας του ανέμου και της τάσεως των ατμών, προκειμένου να υπολογισθούν οι εποχιακές και ετήσιες τιμές του Δείκτη Δυσφορίας (Discomfort Index) και της Ψυκτικής Ικανότητας του αέρα (Windchill). Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του σταθμού του Πανεπιστημίου (H = 37 μέτρα) ο οποίος ευρίσκεται στο κέντρο της πόλης, όπου η ανάπτυξη της Πανεπιστημιούπολης είναι παράλληλη με την ανάπτυξη της πόλης.

Πίνακας 1. Ο πληθυσμός της Θεσσαλονίκης κατά την περίοδο 1951 - 1981 (Πηγή: Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος).

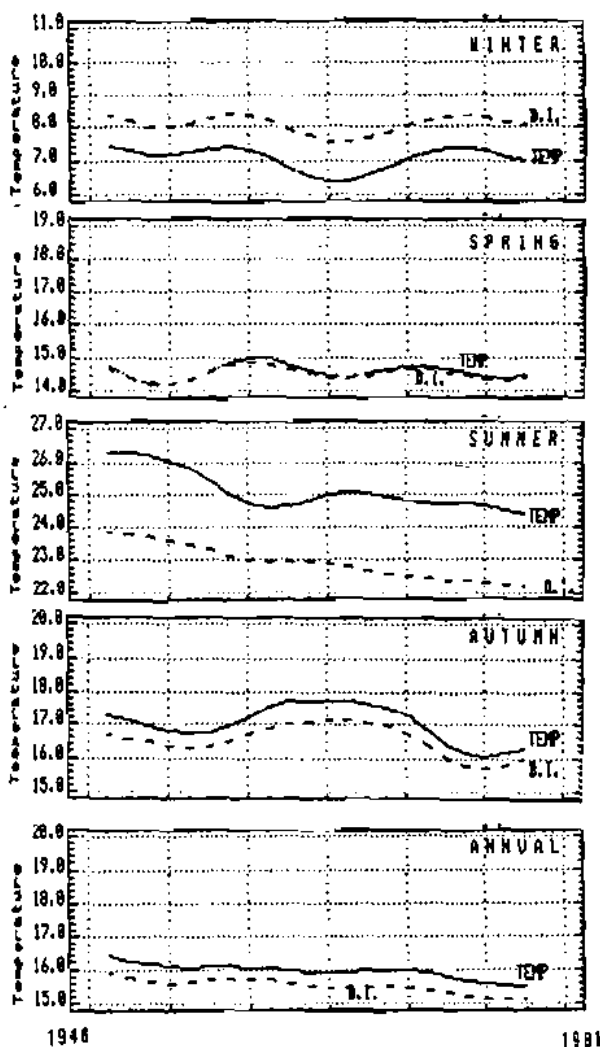
	1951	1961	1971	1981
Κάτοικοι	297.184 *	380.648	557.380	708.180
Μεταβολή %		29,9%	46,7%	26,7%
Πυκνότητα	-	148	193	237

* Η απογραφή του 1951 δεν περιλαμβάνει όλους τους δήμους και τις κοινότητες της μείζονος περιοχής.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ετήσια και εποχιακή μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα, σε σχέση με το χρόνο, δίνεται στο Σχήμα 1. Στο ίδιο σχήμα δίνεται και η αντίστοιχη πορεία του δείκτη Δυσφορίας. Οι καμπύλες του σχήματος απεικονίζουν εξομαλυσμένες τιμές που προέκυψαν μετά την εφαρμογή της μεθόδου Spencer με 15 όρους (Vignola 1978) από την προαίτητη τιμολογία, Α.Π.Θ. (Γηφιακή Βιβλιοθήκη Θεοφράστου - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.)

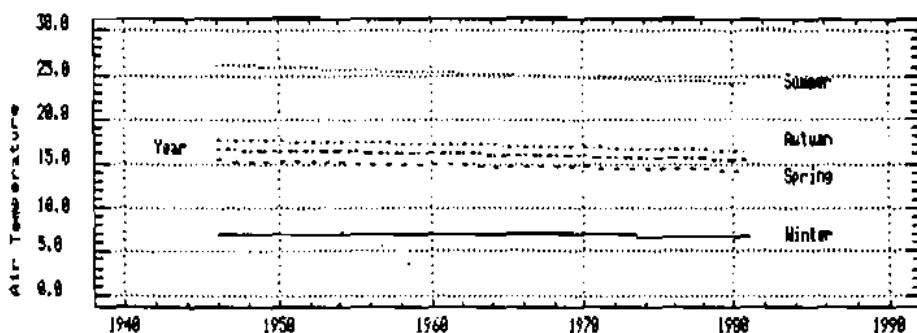
Η ανάλυση των διαγραμμάτων του σχήματος 1 δείχνει ότι κατά τη διάρκεια της μελετώμενης περιόδου τόσο σε ετήσια όσο και σε εποχιακή βάση παρατηρείται πτώση της θερμοκρασίας. Η πτώση αυτή είναι πολύ μικρή κατά τη διάρκεια του χειμώνα ενώ είναι πιο χαρακτηριστική κατά τη διάρκεια των άλλων εποχών και του έτους, με περισσότερο εμφανή τη μεταβολή κατά τη διάρκεια του θέρους. Η πτώση της θερμοκρασίας, σε σχέση με το χρόνο, φαίνεται πολύ χαρακτηριστικά στο Σχήμα 2, όπου



Σχήμα 1. Ετήσιες και εποχιακές εξομαλυσμένες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα και του Δείκτη Δυσφορίας στη Θεσσαλονίκη, για την περίοδο 1948-81, με τη μέθοδο Spencer-15.

εμφανίζονται οι καμπύλες της θερμοκρασίας που προέκυψαν από την εφαρμογή της πολυωνυμικής ανάλυσης 1ης τάξεως. Η κλίση των καμπύλων προς τα δεξιά είναι παντού εμφανής, ενώ η πολύ μικρή πτώση της θερμοκρασίας κατά το χειμώνα θα πρέπει μερικά να αποδοθεί στην επίδραση της θερμής αστικής νησίδας της πόλης (Μπαλαφούτης, 1985 β). Ο Δείκτης Δυσφορίας (σχήμα 1) ακολουθεί πορεία παράλληλη προς τη θερμοκρασία του αέρα και είναι μεγαλύτερος των 22°C κατά τη διάρκεια του θέρους, γεγονός που αποκαλύπτει την εμφάνιση συνθηκών δυσφορίας κατά την περίοδο αυτή.

Η παραπέρα μελέτη των διαγραμμάτων του σχήματος 1 δείχνει ότι η θερμοκρασία διαδραματίζει τον κύριο ρόλο στις χρονικές διακυμάνσεις του δείκτη δυσφορίας, ενώ η ατμοσφαιρική υγρασία ευρισκόμενη συνεχώς σε υψηλά επίπεδα, διαδραματίζει δευτερεύοντα ρόλο. Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται και από τους υφιστάμενους υψηλούς γραμμικούς συντελεστές συσχέτισης οι οποίοι είναι όλοι μεγαλύτεροι του $+0.85$ για όλους τους μήνες. Επομένως ημέρες με μέση θερμοκρασία μεγαλύτερη των 24°C θα πρέπει να οδηγούν στη διαμόρφωση δεικτών δυσφορίας μεγαλύτερες των 21°C .



Σχήμα 2. Καμπύλες πολυωνυμικής εξομάλυνσης 1ης τάξεως των εποχιακών και ετήσιων μέσων τιμών της θερμοκρασίας του αέρα στη Θεσσαλονίκη (1846-81)

Στο Σχήμα 3 απεικονίζονται ανά ζεύγη οι εποχιακές και ετήσιες εξομαλυσμένες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα ($^{\circ}\text{C}$), της ταχύτητας του ανέμου σε $\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ και της ψυκτικής ικανότητας του αέρα σε $\text{Watt}\cdot\text{m}^{-2}$. Η ικανότητα αποψύξεως του αέρα υπολογίστηκε από τη θερμοκρασία του αέρα και τη σχετική υγρασία του αέρα (ASHRAE, 1982). Η ικανότητα αποψύξεως του αέρα υπολογίστηκε από τη θερμοκρασία του αέρα και τη σχετική υγρασία του αέρα (ASHRAE, 1982).

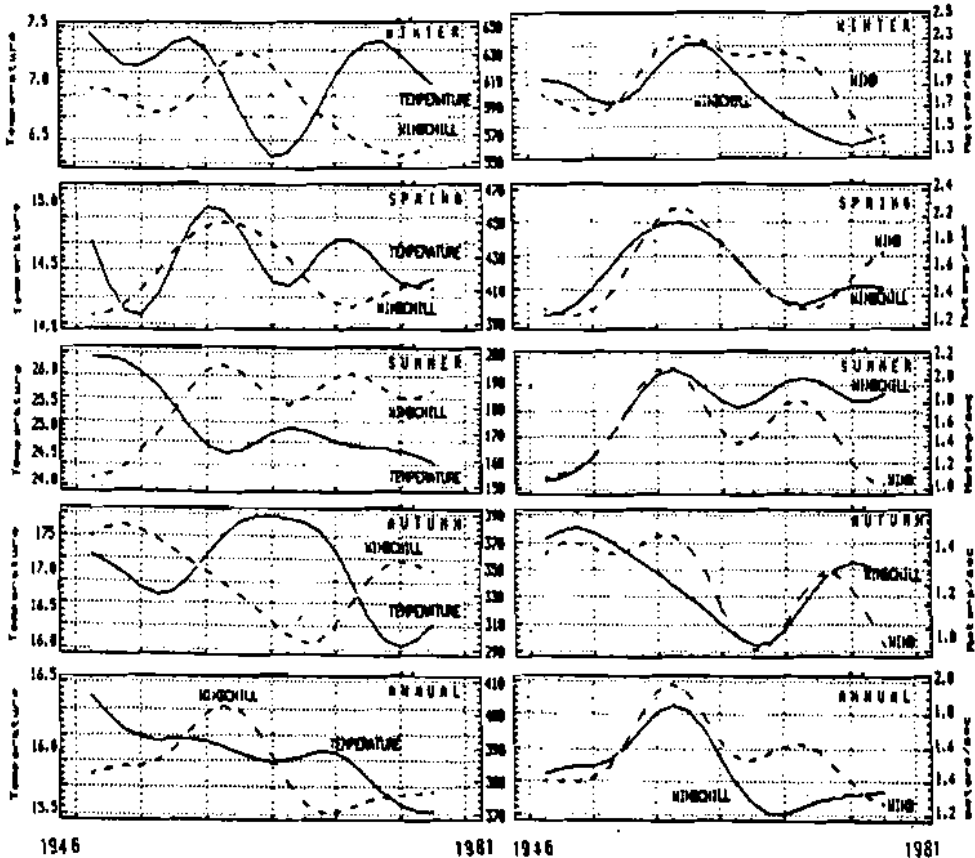
Passel (1945):

$$H = (12.12 + 11.6\sqrt{u} - 1.16 u)(33 - t) \text{ Watts.m}^{-2} \quad (1)$$

Όπου u είναι η ταχύτητα του ανέμου σε m.sec^{-1} και t είναι η θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Κελσίου.

Η ανάλυση των διαγραμμάτων του σχήματος 3 είναι αρκετά πολύπλοκη και ιδιαίτερα σε ότι αφορά την ψυκτική ικανότητα. Η ταχύτητα του ανέμου, όπως φαίνεται στα σχετικά διαγράμματα, έχει παρουσιάσει σημαντική μείωση στη θεσσαλονίκη γεγονός που οφείλεται στην αύξηση της τραχύτητας εξαιτίας της αύξησης της δόμησης.

Οι καμπύλες του ανέμου και της ψυκτικής ικανότητας (Σχήμα 3 β) κατά τα πρώτα 18 έως 20 χρόνια αποκαλύπτουν ότι,



Σχήμα 3. Ετήσιες και εποχιακές εξομαλυσμένες τιμές α) της θερμοκρασίας και της Ψυκτικής Ικανότητας του αέρα και β) της ταχύτητας του ανέμου και της Ψυκτικής Ικανότητας του αέρα στη θεσσαλονίκη, με τη μέθοδο Spencer-15 (Περ. 1946-81).

για την περίοδο αυτή, ο άνεμος είναι ο βασικός παράγοντας για τη διαμόρφωση των τιμών της ψυκτικής ικανότητας. Η σχέση αυτή επεκτείνεται σε περισσότερα χρόνια κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο. Η αναφερομένη περίοδος αντιπροσωπεύει το διάστημα όπου η πόλη είχε σχετικά αργή ανάπτυξη με αποτέλεσμα μικρές μεταβολές στην τραχύτητα. Χαρακτηριστική είναι η αρνητική συσχέτιση των καμπύλων του χειμώνα και του έτους κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 ετών. Η μείωση του ρόλου του ανέμου κατά τη χειμερινή περίοδο (που είναι και η πλέον ανεμώδης εποχή) στην ψυκτική ικανότητα, μέσα στην αναφερόμενη χρονική περίοδο, αποδίδεται στην αύξηση της οικοδομικής δραστηριότητας που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της τραχύτητας της περιοχής. Είναι προφανές ότι στην περίπτωση αυτή οι ετήσιες καμπύλες είναι το αποτέλεσμα της επίδρασης των τιμών του χειμώνα.

Οι τιμές της ψυκτικής ικανότητας παρουσιάζουν μία μείωση, σε σχέση με το χρόνο, καθιστώντας κατά τον τρόπο αυτό το βιοκλίμα της περιοχής θερμότερο, παρόλη την ελάττωση των μέσων τιμών της θερμοκρασίας του αέρα. Η μεταβολή αυτή παρατηρείται τόσο στο ετήσιο μέγεθος όσο και κατά το χειμώνα, την άνοιξη και το φθινόπωρο. Αντίθετα κατά το θέρος η παράμετρος αυτή παρουσιάζει μία σχετική αύξηση σε σχέση με το χρόνο. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να ερμηνευθεί από την ανάλυση της σχέσης (1), όπου ο πρώτος παράγοντας διαμορφούμενος από την ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζει συνεχή πτώση, ενώ ο δεύτερος διαμορφούμενος από τη θερμοκρασία παρουσιάζει μια συνεχή αύξηση με το χρόνο. Είναι επομένως ευνόητο ότι κατά τη διάρκεια της τελευταίας περιόδου το σημαντικότερο ρόλο στη διαμόρφωση της ψυκτικής ικανότητας παίζει η θερμοκρασία αφού ο άνεμος έχει κατά πολύ ελαττωθεί (Κπαλαφούτης 1985 α). Εξάλλου, η κατοπτρική μορφή των καμπύλων της θερμοκρασίας και της ψυκτικής ικανότητας στο σχήμα 3α δείχνει καθαρά το σημαντικό ρόλο της θερμοκρασίας στη διαμόρφωση των τιμών της ψυκτικής ικανότητας, κυρίως κατά τη διάρκεια των 15-18 τελευταίων ετών.

Όπως προκύπτει από την ανάλυση που προηγήθηκε, το πρόβλημα της επίδρασης της αύξησης της πόλης στη διαχρονική

μεταβολή των βιοκλιματικών δεικτών είναι πολύπλοκο και κυρίως στη διαχρονική μεταβολή του δείκτη της Ψυκτικής Ικανότητας κατά τη διάρκεια των δύο ακραίων εποχών (θέρος, χειμώνας). Δηλαδή, ενώ η συνεχής αύξηση της πόλης συντελεί στη συνεχή ελάττωση της ταχύτητας του ανέμου και κατά ένα μέρος στην ελάττωση της μέσης θερμοκρασίας του αέρα, το συνολικό αποτέλεσμα εκφράζεται, κυρίως κατά το καλοκαίρι, από μια βελτίωση των συνθηκών άνεσης. Με άλλα λόγια η συνεχής πτώση της μέσης θερμοκρασίας αντισταθμίζει κατά πολύ τη συνεχή αύξηση της ταχύτητας της πόλης.

Ελπίζουμε να επανέλθουμε σύντομα για μιά καλύτερη διερεύνηση του προβλήματος της αύξησης της πόλης στη βελτίωση ή όχι των βιοκλιματικών συνθηκών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΜΠΑΛΑΦΟΥΤΗΣ Χ.Ι., (1985α).** Η συχνότητα των ασθενών ανέμων στη Θεσσαλονίκη. Πρακτικά Συνεδρίου: Περιβάλλον και ποιότητα ζωής στη Θεσσαλονίκη. Σελ 359-362.
- ΜΠΑΛΑΦΟΥΤΗΣ Χ.Ι., (1985β).** Η κλιματολογία της θερμής αστικής νησίδας στη Θεσσαλονίκη. Πρακτικά 4ου Σεμιναρίου για την προστασία του περιβάλλοντος - ατμοσφαιρική ρύπανση. Σελ. 49-53.
- VIALAR J. (1978):** Calcul des probabilités et statistique. Tome IV, Statistique. etude de series chronologiques. Meteorologie Nationale, Paris, pp 128.
- SIPLER P.A., and PASSERL C.P., (1945).** Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. Proc. Am. Phil. Soc. 89, 177-199.
- THOM E.C., (1959):**The Discomfort Index. Weatherwise, 12, 57-60.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αστικοποίηση και η βιομηχανοποίηση μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά της θερμοκρασίας του αέρα, της ατμοσφαιρικής υγρασίας και των ανέμων συντελώντας στο μετασχηματισμό του αστικού βιοκλίματος. Η επίδραση της ανάπτυξης της πόλης στις σχέσεις που υφίστανται μεταξύ των κλιματικών παραμέτρων της θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου αφενός

και των βιοκλιματικών δεικτών της Ψυκτικής Ικανότητας του αέρα (Wind-Chill) και του Δείκτη Δυσφορίας (Discomfort Index) αφετέρου, αναλύονται, για την πόλη της Θεσσαλονίκης, για το έτος και για τις τέσσερις εποχές που αφορούν την περίοδο 1948-1981, κατά την οποία ο πληθυσμός της πόλης έχει τουλάχιστον τριπλασιαστεί. Η πολύ πυκνή δόμηση και το ύψος των κτιρίων έχουν ελαττώσει δραματικά την ταχύτητα του ανέμου, συντελώντας στη διαμόρφωση βιοκλιματικών δεικτών καθοριζομένων κατά κύριο λόγο από τη θερμοκρασία του αέρα.

ABSTRACT

Urbanization and industrialization change temperature, humidity and wind characteristics by modifying the local climate. The influences of the growing of the town on the relationships between air temperature, wind speed, windchill and discomfort index, for the four seasons and the year, are analyzed for the city of Thessaloniki, for the period 1946-1981 during which the town has increased almost three times. The dense construction and the height of the buildings have reduced dramatically the wind speed resulting a different behavior of the bioclimatic indexes and establishing the air temperature as the main bioclimatic factor.